

جامعة حضرموت

كلية الهندسة والبترول

قسم الهندسة المدنية



دراسة خواص مواد البناء وطرق الانشاء للمباني التقليدية بهضبة حضرموت

بحث تكميلي مقدم للإيفاء بمتطلبات نيل

درجة البكالوريوس في

الهندسة المدنية

إعداد الطلاب:

عبدالله صالح سالم المشجري

عبدالملك محمد يسلم باجحاو

محمد سعيد عبدالله باوزير

محمد عبدالله عوض بعلول

مزهر فائز يسلم باسر

إشراف:

الدكتور/ وليد أحمد سالم بازار

المكلا

مايو/ 2025

إقرار المشرف

أشهد بأن إعداد هذا المشروع الموسوم

دراسة خواص مواد البناء وطرق الأنشاء للمباني التقليدية بهضبة حضرموت

والمعد من قبل الطلاب:

1- عبدالله صالح سالم المشجري
2- عبدالملك محمد يسلم باجحاو
3- محمد سعيد عبدالله باوزير
4- محمد عبدالله عوض بعلول
5- مزهر فائز يسلم باسر

قد تم تحت إشرافي في قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة والبترول، جامعة حضرموت وهو جزء من متطلبات نيل شهادة البكالوريوس في الهندسة المدنية

التوقيع

الاسم: الدكتور/ وليد أحمد سالم بازار

المرتبة العلمية: أستاذ مشارك

التاريخ:

إقرار

نقر نحن بأن العمل في هذا المشروع هو عملنا باستثناء الاقتباسات والملخصات التي تمت الإشارة إليها داخل النص.

مايو /2025

الاسم	رقم القيد	التوقيع
1- عبدالله صالح سالم المشجري	20020611060	
2- عبدالملك محمد يسلم باجحاو	20020611126	
3- محمد سعيد عبدالله باوزير	20020611123	
4- محمد عبدالله عوض بعلول	20020611002	
5- مزهر فائز يسلم باسر	20020611139	

الاهداء

بكل مشاعر الامتنان والمحبة، نهدي هذا العمل المتواضع الى:

إلى من غرسوا فينا حب العلم وربونا على القيم والمبادي السامية، إلى آبائنا وأمهاتنا، سندنا الأول وسبب نجاحنا، نهدي إليكم هذا الجهد عربون وفاء وامتنان، فما كنّا لنصل إلى ما نحن علية لولا دعاؤكم ودعمكم المستمر.

إلى أساتذتنا الكرام، مصدر العلم والإلهام، من علمونا معنى الإصرار، والبحث، والتفكير العلمي، نهدي إليكم هذا البحث تقديراً لجهودكم ومكانتكم في قلوبنا.

إلى زملائنا وأصدقائنا الذين شاركونا رحلة الدراسة والتجربة، ووقفوا معنا في لحظات التحدي والإنجاز، نهدي إليكم هذه الثمرة التي نضجت بتعاونا وتبادلنا للخبرات.

إلى كل من كان له أثر في مسيرتنا، قريباً كان أو بعيداً

نهديكم جميعاً هذا العمل، سائلين الله أن يكون بداية خير في طريقنا المهني والعملي.

شكر وعرفان

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات، وبفضلة تتكلل الجهود بالنجاح.

الحمد لله الذي وفقنا وأعاننا على إتمام هذا البحث، وسدّد خطانا في رحلتنا العلمية طوال فترة دراستنا الجامعية

نخص بالشكر والتقدير جميع الدكاترة والمهندسين في كلية الهندسة والبترول قسم الهندسة المدنية الذين رسموا لنا طريق المستقبل وأعطوا فاجزلوا العطاء

كما نتوجه بوافر الشكر والعرفان للدكتور/ وليد بازار، المشرف الكريم، مشرف البحث، الذي لم يبخل علينا بوقته وجهده، وقدم لنا التوجيه العلمي والنصائح القيمة والملاحظات البنّاءة التي كان لها الأثر الكبير في تطوير هذا العمل والوصول به الى صورته النهائية.

كما نتقدم بخالص الشكر وعظيم التقدير إلى مختبرات لاب تست لصاحبها بن مالك، على ما قدموه لنا من دعم وتسهيلات أثناء إجراء التجارب، وتوفيرها للبيئة العملية والتجهيزات اللازمة التي كان لها الأثر الكبير في نجاح الجانب التجريبي من هذا البحث.

ولا يفوتنا أن نشكر جميع منساندنا وشاركنا بالرأي أو التشجيع أو التسهيلات العملية، من زملاً وأساتذة وفنيين، فلكم منا كل التقدير والاحترام.

نسأل الله أن يبارك في هذا الجهد، وأن يجعله خطوة أولى في مسيرتنا المهنية والعلمية.

ملخص

يهدف هذا البحث إلى تحليل خصائص مواد وطرق البناء التقليدي في هضبة حضرموت، مع التركيز على مادتي الصليل (المعروف محليًا بالقرف) والطين الأبيض (القطاطة) المستخدمتين على نطاق واسع في إنشاء المساكن التقليدية في هضبة حضرموت. وقد تناول البحث دراسة شاملة تبدأ بتعريف عام عن هضبة حضرموت، وتحديد المناطق التي ينشر فيها البناء بمادة الصليل (القرف)، ويتضمن البحث مراجعة الأدبيات السابقة ذات العلاقة، وتقديم توصيف ميداني دقيق للمواد وأساليب البناء الشائعة والتقنيات المستخدمة في المباني القديمة والحصون والقلاع والمباني الحديثة، ثم استكمال الدراسة بمجموعة من التجارب المخبرية لقياس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادتين.

أظهرت التحاليل الكيميائية أن مادة الصليل تحتوي على نسب مرتفعة من السيليكا والألومنيوم والمغنيسيوم، مما يسهم في تعزيز التماسك والصلابة، إلا أن ارتفاع نسبة الفقد بالاحتراق يشير إلى وجود رطوبة أو مواد عضوية قد تؤثر سلبًا على استقرار المادة. أما الطين الأبيض (القطاطة)، فقد أظهر نسبة عالية من أكسيد الكالسيوم، ما يجعله مناسبًا كمونة تقليدية، رغم انخفاض نسب السيليكا والألومينا، وهو ما يقلل من صلابته ويزيد من مرونته.

أظهرت تجارب الكثافة والوزن النوعي للطين نتائج مقبولة (1.335جم/سم³ و2.11)، بينما أظهرت تجارب الصليل مسامية مرتفعة بكثافة 1.45جم/سم³ وامتصاص 28.2%. تراوحت مقاومة الضغط لعينة الصليل بين(24.9 – 62.8 ميجا باسكال). ولم تعط دقة في النتائج وذلك لقلة العينات بسبب صعوبة الحصول عليها بشكل قياسي، كما تبين أن تغير الحجم بعد النقع كان واضحًا، مما يشير إلى احتمالية التشقق. وقد أظهرت مكعبات الطين أعلى مقاومة عند نسبة ماء 40% دون قش (2.26 MPa)، مع انخفاض تدريجي بزيادة الماء والقش.

توصي الدراسة بدمج المعرفة التقليدية بالتحليل العلمي لضمان كفاءة واستدامة البناء المحلي في البيئة الجافة.

Abstract

This research aims to analyze the properties of traditional building materials and construction methods in the Hadhramaut Plateau, with a focus on the use of “Salil” and “Qatatah” (white clay) in traditional earthen housing. The study includes a review of relevant literature, field documentation of materials and construction techniques, as well as a series of laboratory experiments to assess the physical and chemical properties of the materials.

Chemical analysis revealed that Salil contains high levels of silica, aluminum, and magnesium, contributing to its strength and cohesion. However, a high loss on ignition indicates the presence of moisture or organic matter, which may affect stability. Qatatah showed a very high content of calcium oxide.

Laboratory tests showed that the bulk density of white clay was 1.335 g/cm³, with a specific gravity of 2.11. Salil samples had an average absorption rate of 28.2% and density of 1.45 g/cm³, indicating high porosity. Compressive strength ranged between 24.9–62.8 MPa, and volume change tests demonstrated noticeable expansion and disintegration upon soaking. Compressive strength tests of Qatatah cubes revealed a maximum strength of 2.26 MPa at 40% water content without straw, decreasing with added straw content.

The study concludes that these local materials are suitable for dry climates and recommends integrating traditional knowledge with scientific analysis to enhance performance and ensure construction sustainability.

الفهرس

الباب الثالث: مواد وطريقة البناء

فهرس الأشكال

فهرس الجداول

الباب الأول

المقدمة

الباب الاول

مقدمة البحث

1.1 المقدمة:

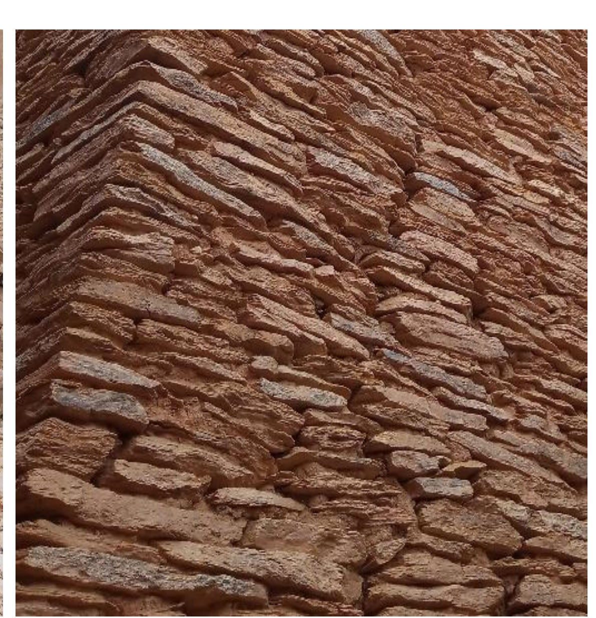
المباني بالصليل (القرف) او الصفائح الطينية المتحجرة في هضبة حضرموت تعد جزءاً مهما من التراث المعماري والتاريخي في المنطقة، حيث تقع هضبة حضرموت في الجزء الجنوبي الشرقي من اليمن، وتعد هضبة حضرموت واحدة من ابرز المناطق الجغرافية في اليمن، حيث تتميز بتنوعها الثقافي والمعماري الفريد، إن البناء في هذه الهضبة يتميز بتقاليده التي تمتد لألاف السنين، حيث يمثل انعكاسا لأسلوب الحياة والتراث الثقافي للسكان المحليين، تتميز المباني التقليدية في هذه الهضبة بأنها مصنوعه من الصليل (القرف) كما هو موضح في الاشكال (1.1 -1.2)، وهو نوع من الصفائح الطينية المتحجرة الذي يتم استخدامه في تكوين جدران المنازل والمباني، وتعتبر هذه الطريقة في البناء جزءًا من تقاليد عريقة تعود لقرون عديدة استخدمت لتلبية احتياجات السكان المحليين من حيث العزل الحراري ومقاومة عوامل الطقس، ومن خلال دراسة ماده الصليل (القرف) يمكننا فهم الطرق التقليدية التي أستخدمها الأهالي في إنشاء مبانيهم بالإضافة الى المواد التي استخدمت وتأثير البيئة المحيطة على النمط المعماري.

تتسم عمارة هضبة حضرموت بالتنوع، حيث نجد فيها أنماطا مختلفة من البنايات بدا من البيوت التقليدية وصولا الى المباني الأكثر حداثة، تعكس تلك الأساليب المعمارية التطور الاجتماعي والاقتصادي للمنطقة على مر العصور، لذا يأتي هذا البحث لاستكشاف عناصر البناء في هضبة حضرموت مع التركيز على الصليل كوسيلة تقليدية في إنشاء المساكن، ولفهم كيفية تفاعل الانسان مع بيئته وكيفية تطور الأساليب المعمارية عبر الزمن.

علاوة على ذلك يعتبر استخدام الصليل (القرف) في البناء جزءًا من الهوية الثقافية، حيث تحمل هذه المباني طابعاً فريداً من العمارة يمتزج فيه الجمال والوظيفية، وعلى مر السنين أظهرت هذه المباني

قدرة على الصمود أمام الظروف البيئية القاسية، مما يجعلها مثالاً للتكيف والابتكار في الفنون المعمارية التقليدية.

إن الحفاظ على هذه المباني وصيانتها يمثل تحدياً كبيراً في السياق الحديث، لكن يتطلب الأمر جهداً جماعياً للحفاظ على هذا التراث الجميل والثمين وتوثيقة للأجيال القادمة.



الشكل (1.1) يوضح جدار من الصليل



الشكل (1.2) يوضح مادة الصليل

1.2 فكرة ومشكلة البحث

أتت فكرة هذا البحث من النقاط التالية:

- عدم وجود أبحاث عن مادة الصليل (القرف) والمباني في هضبة حضرموت وإن وجدت فهي نادرة جداً ومحدودة ، ولا تتطرق الى خواص المواد، على الرغم من وجود أبحاث كثيرة عن العمارة بالطين.
- المواد المستخدمة هي مواد طبيعية ومتاحة لكن لا توجد معلومات عن خواصها.
- تميز المنطقة بنوع نادر وفريد من أنواع العمارة.
- تشكل العمارة في الهضبة الحضرمية جزاء من التاريخ والتراث وهذا يستحق البحث والاهتمام.
- المحافظة على تراث الأجداد وإبرازه كون أغلب أعضاء فريق البحث ينتمون الى هذه المنطقة.

1.3 منطقة الدراسة

تعتبر اليمن من الدول التي تتميز بتنوع كبير في تضاريسها، حيث تضم مجموعة من المعالم الجغرافية التي تتفاوت بشكل لافت بين الجبال والسهول والهضاب والصحاري، يمتد تنوع التضاريس اليمنية ليشمل عدة مناطق طبيعية كما هو موضح في الشكل (1.3)، فإلى الشمال والغرب تمتد السلاسل الجبلية والسهول الساحلية على البحر الأحمر بينما تشتهر المناطق الجنوبية بتضاريسها الساحلية على البحر العربي، فضلا عن وجود الهضاب والسهول الداخلية والوديان الخصبة، كما تتميز بوجود صحراء الربع الخالي والتي تعد من اكبر الصحاري، وهذا التنوع الاستثنائي في التضاريس يتيح تنوعاً بيئيا وثقافياً كبيراً. ولمحافظة حضرموت النصيب الأكبر من هذا التنوع نظراً للامتداد الكبير للمحافظة تتميز محافظة حضرموت بتنوع جغرافي كبير يشمل السهول الساحلية والشريط الصحراوي والوديان والهضاب حيث تظهر فيها العديد من الأنماط ، حيث ساعد في تنوعها امتداد حضرموت الكبير، ونركز بشكل كبير على الهضبة لأنها محط اهتمام وموقع دراستنا.



الشكل (1.3) خريطة توضح تضاريس اليمن [1]

هضبة حضرموت هي أكبر مظهر رسوبي جنوب الجزيرة العربية، وهي عبارة عن ثنيتين محدبتين إحداهما شمالية وتقع في شمال حضرموت وتمتد الى محافظة المهرة وسلطنة عمان والأخرى جنوبية وتمتد من محافظة شبوة الى محافظة المهرة ، واتجاه محاورهما من الغرب الى الشرق يفصل ما بينهما ثنية مقعرة يشغلها حاليا وادي حضرموت [2] كما تعرف أيضا باسم الجول وهي جزء من الهضبة الشرقية لليمن يطلق عليها سكان حضرموت أسم جيلان ويتراوح ارتفاعها بين 2000-1500 متر مع زيادة في بعض الكتل الجبلية، تتميز المنطقة بأمطار قليلة ومتفاوتة من عام لأخر[3]، تفصلها رملة السبعتين عن الهضبة الغربية لليمن بينما تربطها سلسلة جبال الكور.

1.3.1 التقسيم الجغرافي:

الهضبة الجنوبية: (موقع الدراسة) تمتد من الطرف الجنوبي الشرقي لهضبة اليمن الشرقية حتى راس فرتك وخليج القمر شرقا بطول يزيد عن 250 ميلاً يحدها شمالا وادي حضرموت وجنوباً الاودية والمرتفعات الساحلية كما هو موضح في الشكل (1.4)، ويصل ارتفاع الهضبة في الجزء الغربي 1500م فوق سطح البحر، وتنحدر تدريجيا نحو الشرق ويصل الارتفاع الى 600م [2]في هذا الجزء من الهضبة وتتخلَّلها الكتل الجبلية، التي تكون أكثر ارتفاعًا منها، مثل كار سيبان[4]، وعلى مرتفع الجول تقع قرى وأراض واسعة، تمتدُّ من أعلى وادي حجر في الجنوب، وحتى وادي جردان غربا لتضم مديرية الطلح وأجزاء من مديرية الروضة في محافظه شبوة وشمالا لتضم مديرية الضليعة ومرتفعات وادي دوعن، وتخترق الهضبة الجنوبية العديد من الاودية مثل (دهر، رخية، عمد، دوعن، وادي العين).



الشكل (1.4) خريطة توضح الهضبة الجنوبية

حيث ينتشر هذا البناء بشكل كبير في مديريات الطلح، وجزء من مديرية الروضة ووادي جردان خصوصاً صعيد جردان في محافظة شبوة ومديرية يبعث والضليعة ومرتفعات مديرية دوعن في محافظة حضرموت حسب ما تظهر المناطق في الاشكال من (1.6) الى (1.10) وكما يبين الجدول (1.1) إحداثيات بعض المناطق الذي تشتهر بالبناء بمادة الصليل (القرف) كما يتواجد في مناطق أخرى من حضرموت ولاكن بجودة اقل.

وتركيز الدراسة سوف يكون على مديرية الطلح في محافظة شبوة ومديرية يبعث والضليعة في محافظة حضرموت كما هو موضح في الخريطة شكل رقم (1.5).

الجدول (1.1) يوضح إحداثيات بعض المناطق في الهضبة الجنوبية

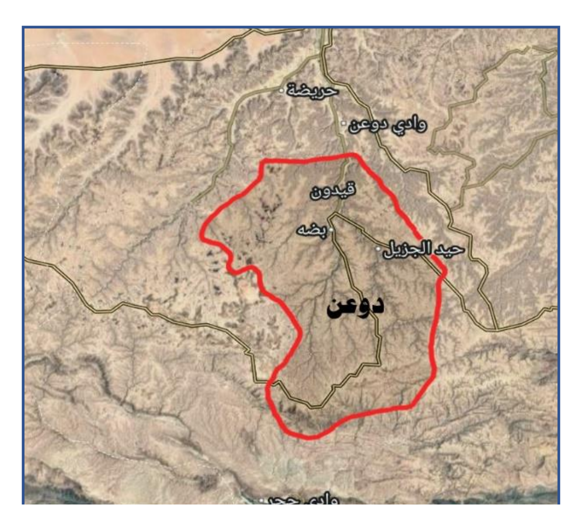
المديرية	المحافظة	الاحداثيات
الطلح	شبوة	15.1559°N 47.400°E
الضليعة	حضرموت	14.96°N 48.00°E
يبعث	حضرموت	14.75°N 47.75°E
جردان (صعيد جردان)	شبوة	14.839°N 47.194°E
دوعن (مرتفعات دوعن)	حضرموت	14.790°N 48.328°E



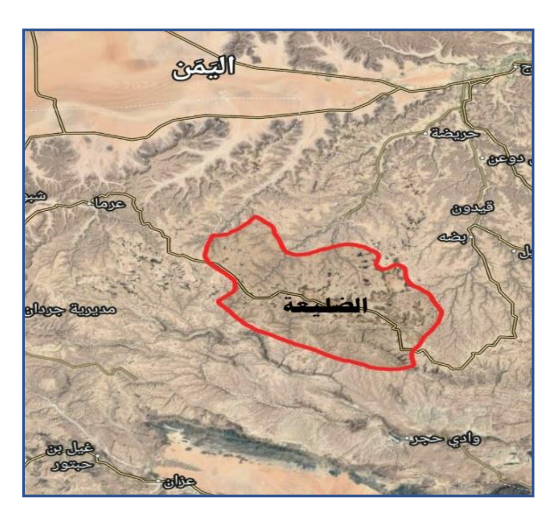
الشكل (1.5) خريطة توضح التقسيم الإداري



الشكل (1.6) صورة جوية لمديرية الطلح - شبوة



الشكل (1.7) صورة جوية لمديرية دوعن - حضرموت



الشكل (1.8) صورة جوية لمديرية الضليعة - حضرموت



الشكل (1.9) صورة جويه لمديرية جردان - شبوة



الشكل (1.10) صورة جوية لمديرية يبعث - حضرموت

الهضبة الشمالية: تمتاز باتساعها وقلة ارتفاعها مقارنة بالهضبة الجنوبية، تمتد من رملة السبعتين غرباً حتى ظفار شرقا بطول حوالي 500 ميل، تنحدر منها أودية تتجه شمالا نحو الصحراء وأخرى جنوبا نحو وادي حضرموت [2] مثل وادي (هينن، وادي سر).

1.3.2 التضاريس والمناخ:

سطح الهضبة: يغلب علية التجانس التام، حيث تسود السهول مساحات شاسعة تغطيها الحصى والحصباء الحادة الأطراف.

الصخور: الحجر الجيري: حيث يتواجد بكثرة في وادي وساحل حضرموت وفي هضبة حضرموت الشمالية والجنوبية.

الجبس: ويتواجد بكثرة في الهضبة الشمالية حيث يوجد بالقرب من ثمود كميات كبيرة من الجبس وأيضا في مناطق أخرى من حضرموت.

صخور الجوارسي: وتعتبر مصدراً جيداً للاحتمالات النفطية في حضرموت وتوجد هذه الصخور على امتداد الهضبة الجنوبية لحضرموت [5]

المناخ:

يتميز مناخ هضبة حضرموت بالجفاف وندرة الأمطار، حيث تسود الأجواء الصحراوية الحارة نهاراً والمعتدلة إلى الباردة ليلاً. تتأثر المنطقة برياح موسمية صيفية خفيفة وأخرى جافة باردة شتوية، مع رطوبة منخفضة وتباين نسبي. تؤثر هذه الظروف في خصائص مواد البناء التقليدي واستدامتها. [6]

التقسيم الإداري:

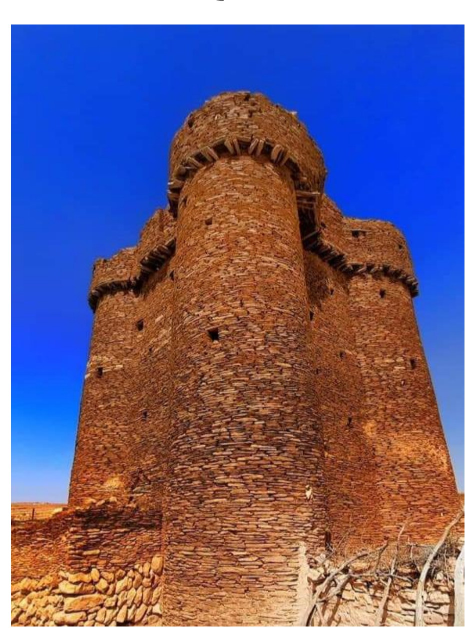
الهضبة الجنوبية: تبدأ من الأطراف الشرقية لمحافظة شبوة وتضم مديرية الطلح وجزء من مديرية الروضة، اما الجزء الاكبر منها في محافظة حضرموت وتتوزع بين العديد من المديريات ومنها (يبعث، الضليعة، دوعن، غيل بن يمين، ..، وغيرها).

وتضم العديد من المناطق التي تشتهر بالبناء بالقرف ومنها سوط بالعبيد، سوط ال علي(باتيس، بن سميدع)، ريدة الدين، وادي حول ويبعث، وريدة المعارة، وريدة الجوهيين ولاكن بشكل اقل.

الهضبة الشمالية: وتوجد في شمال حضرموت وتقع في مديريات (ثمود، القف، رماة، ...)، وتضم بعض المناطق ومنها، ريدة الصيعر، وقف العوامر وغيرها.

1.4 وصف البحث

هذا البحث يندرج ضمن تخصص المشاريع الانشائية وهو عبارة عن دراسة نظرية وعملية عن البناء بمادة الصليل (القرف) في محافظة حضرموت وشبوة (هضبة حضرموت) والهدف العام من المشروع معرفة خواص هذه المواد ومعرفة مدى ملامتها لطبيعة المنطقة وإمكانية تحسين هذه المواد مستقبلاً بعد تحديد خواصها، وتقديم معلومات عن المباني في تلك المناطق بحيث توجد هناك عده اشكال مختلفة للمباني والقلاع الحربية (المصانع والحصون) حيث تتميز المصانع ومفردها مصنعة بحجم أكبر من الحصون ووجود الأركان الدائرية حيث سيتم شرحها في الأبواب القادمة ويظهر في الاشكال التالية بعض النماذج.



الشكل (1.11) مصنعة الباجحاو
معبر- الطلح - شبوة



الشكل (1.12) مصنعة البامخشب الروضة -
الطلح - شبوة



الشكل (1.13) حصن بامسدوس الضليعة - حضرموت

1.5 أهمية وأهداف البحث

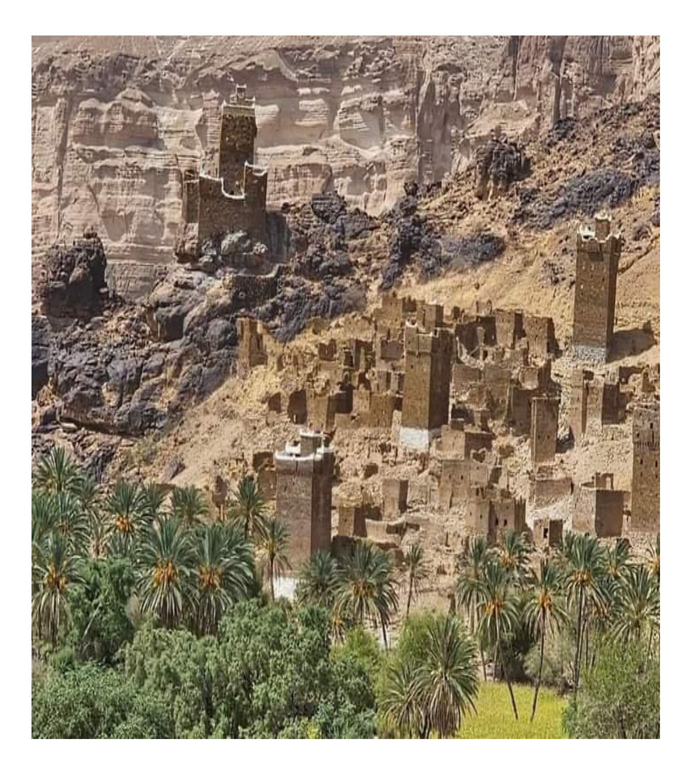
لا شك ان الجميع يعرف ان لكل منطقة طابع يميزها عن غيرها فكما يميز الوديان الداخلية لشبوة وحضرموت المباني الطينية فأن المباني في الهضبة (السوط – الجول) السوط يستخدم لوصف مساحة مستوية من الأرض وغالباً ما يشير الى الأراضي الواسعة كما يعتبر الجول أيضا من المصطلحات المشابهة التي تستخدم للدلالة على الأراضي الواسعة المنبسطة، تختلف اختلافا كبيراً عنها بسبب اختلاف خصائص المكان والظروف الطبيعية فالناس يستعملون في بنائهم المواد المحلية المتاحة لهم ،فاذا كان اللبن هو المادة الأساسية المتاحة في الوديان فإن الصفائح الحجرية المحلية هي مادة البناء الرئيسية في الهضبة (السوط) ولذلك فقد استخدموا الموارد المتوفرة لديهم لبناء مساكنهم وكانت مادة القرف هي المادة الأساسية للبناء في الهضبة حيث يعتبر البناء بالقرف أكثر اقتصادية وصديق للبيئة ولا توجد له أثار سلبية على عكس الخرسانة كما يعتبر من التراث الثمين، وعلية فهنالك ضرورة ماسة لدراسة طبيعة وخواص المواد المستخدمة في هذه المباني وأساليب أنشاءها ومدى التأثير الزمني عليها بشكل يضمن استمرارها وتميزها ومواكبتها لتطورات العصر الحديث.



الشكل (1.14) حصون في الطلح - شبوة

وتعتبر العمارة بالقرف جزءا من التراث الثقافي في مناطق مثل حضرموت وشبوة، دراسة هذه المباني تساعد في إعادة الترميم و الحفاظ على الهوية الثقافية والتاريخية للمنطقة الممثلة في الشواهد التاريخية مثل الحصون كما يظهر في الاشكال التالية (1.14-1.15) حيث توجد الحصون في أغلب مناطق الهضبة حيث انه لا تكاد توجد منطقة او قرية لا يوجد فيها حصن وفي بعض المناطق يوجد

أكثر من حصن واحد وخصوصاً المناطق الكبيرة او التي توجد فيها أكثر من قبيلة، وهذا ما دفعنا للدراسة لتعزيز الفهم العام لتطور الأساليب المعمارية التقليدية.



الشكل (1.15) حصون الحمم وادي حول- يبعث - حضرموت



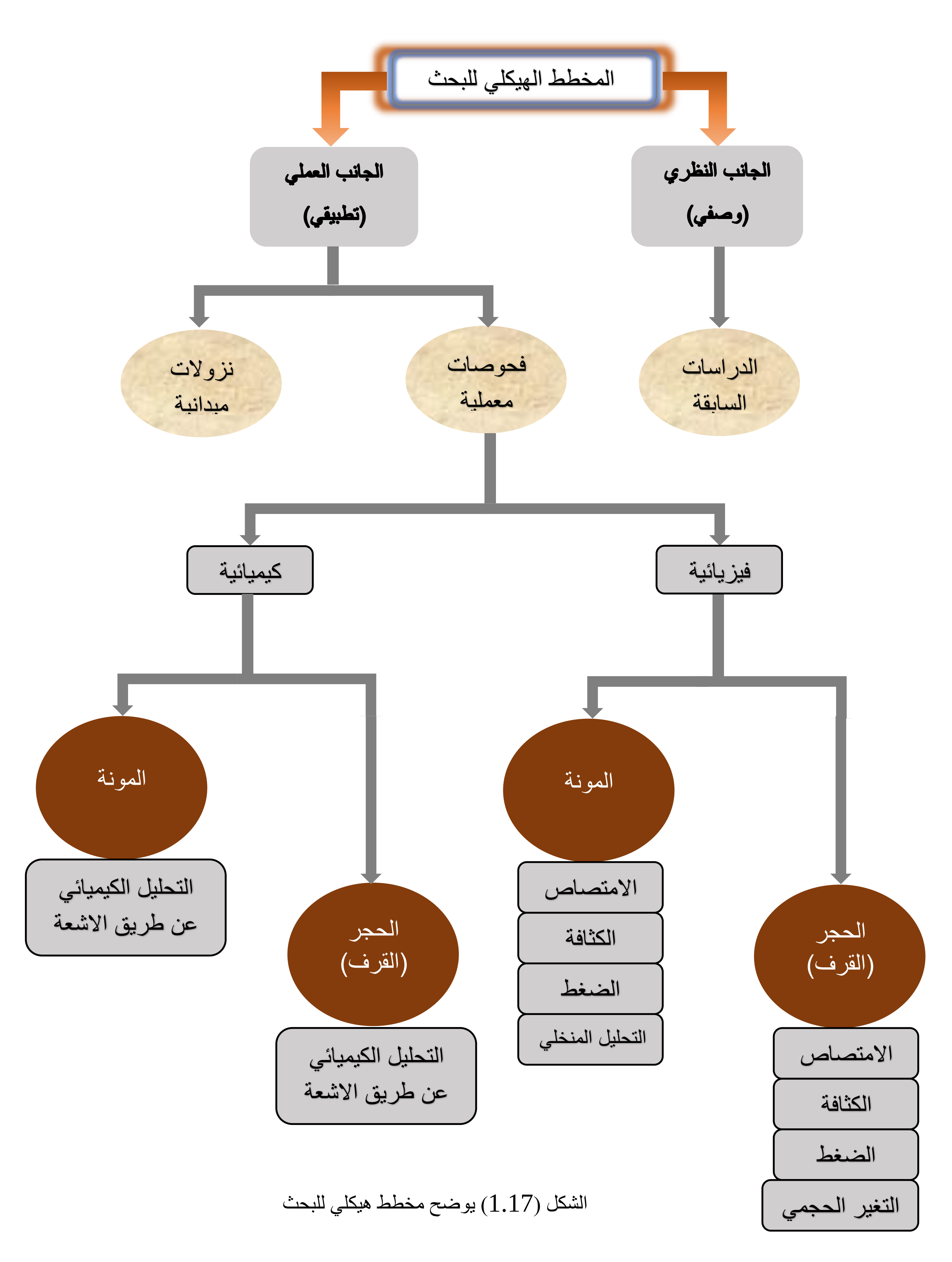


الشكل (1.16) حصن بامعصرة - معبر- الطلح - شبوة

ومن أهم أهداف البحث الاتي:

- التعرف على الخواص الكيمائية والفيزيائية للمواد المستخدمة في البناء من خلال الفحوصات المعملية.
- من خلال معرفة الخواص للمواد يمكن تطوير وترميم المباني بمادة الصليل (القرف) وجعلها أكثر ديمومة وتحملا للظروف المحيطة ومواكبة لحياة المستخدمين.
- يهدف البحث إلى توثيق وابراز المباني القديمة كجزء من الهوية الثقافية والتاريخية مما يتيح للأجيال القادمة فهم وتقدير ماضيهم، ووصف للمواد وطرق البناء التقليدي.
- معرفة أساليب البناء المختلفة للمباني والمواد المستخدمة في البناء على مر الزمن.
- رفع مخططات معمارية لبعض نماذج البناء مثل المباني السكنية والحصون.

1.7 هيكلة البحث



الشكل (1.17) يوضح مخطط هيكلي للبحث

تم تقسيم البحث الى خمسة أبواب، وتم ترتيبها لرسم فكرة واضحة حول البحث وقد تم ترتيب هذه الأبواب على النحو الاتي:

- **الباب الأول: مقدمة البحث**

الباب الأول هو عبارة عن ملخص للبحث يضم هذا الباب وصف منطقة الدراسة واهميتها والاهداف العامة من البحث كما شمل أيضا هيكلة البحث.

- **الباب الثاني: الدراسات النظرية**

وفي هذا الباب تم التطرق لذكر ملخص للدراسات السابقة فيما يتعلق بالعمارة في الهضبة الحضرمية ومميزاتها

- **الباب الثالث: المواد وطريقة البناء**

وفي هذا الباب سيتم التعرف على المواد المستخدمة في البناء وانواعها، وطريقة البناء ودراسة بعض الأبنية الموجودة مثل الحصون والبيوت القديمة

- **الباب الرابع: الاختبارات المعملية النتائج والمناقشة**

يتناول هذا الباب كل التجارب التي تم عملها في المختبر وتوضيح خطواتها والأدوات المستخدمة في كل تجربة، ثم الحديث عن نتائج هذه التجارب بالأرقام والاستنتاجات وتوضيح الأخطاء التي حدثت بالتجارب.

- **الباب الخامس: الاستنتاجات والتوصيات**

يحتوي هذا الباب على الاستنتاجات الأخيرة وما توصل الية البحث.

الباب الثاني

الدراسات النظرية

الباب الثاني

الدراسات النظرية

2.1 المقدمة:

تتميز العمارة في الهضبة الحضرمية بالبساطة في استخدام المواد المحلية في البناء، وتدل في نفس الوقت على مدى التطور والنضج المعماري في الهضبة في إيجاد تناغم وتنسيق عجيبين بين الانسان والبيئة، إن مثل هذا الإرث المعماري الزاخر، ينبغي النظر إليه باعتباره مرتكز حي ودائم يحفز الي النظر الى التراث ليصبح منطلقاً لكل محاولة للتجديد حيث تعتبر العمارة التقليدية في الهضبة الحضرمية، وخاصة عمارة القرف جزء مهما من التراث الثقافي الذي يجب الحفاظ علية، وأن معرفة أهم الخواص الهندسية لمواد البناء وطرق البناء يتيح المجال في فهم سلوك المواد من الناحية الإنشائية مما يسمح بتطوير في المواد أو طرق الإنشاء وإمكانية ترميم المباني التاريخية.

2.2 في دراسة د/محمد أحمد السدلة الخليفي مدير المدن التاريخية ـ شبوة، بعنوان رؤية مستقبلية للحفاظ على التراث المعماري المتنوع وفنونه في شبوة [7]:

ركزت الدراسة على الجانب التاريخي والفن المعماري ولم تتطرق إلى مواد البناء أو طرق الأنشاء بشكل تفصيلي، والاهتمام بالتراث المعماري الذي يعد من مظاهر تطور الانسان عبر التاريخ وما يمثله من عمق حضاري، وحماية التراث من المخاطر التي تهدده، وتقديم بعض المقترحات التي من الممكن أن تكون حل لفتح الباب أمام المهتمين والباحثين عن التاريخ والثقافة والموروث الحضاري لعمل دراسات وابحاث جديدة حول العمارة القديمة وما يميزها من خصائص معمارية والطرق التي من الممكن ان تسهم في تطويرها والحفاظ عليها من الاندثار.

حيث لاحظ انه من القرن الماضي تقريباً بدا الاهتمام بالعمارة الطينية في محافظة حضرموت ولفتت المدن التاريخية انظار العديد من الباحثين والمستشرقين الذين زاروا المنطقة وكتبوا عنها في

مؤلفاتهم، كما لاحظ ان اهتمام الباحثين يتركز على وادي حضرموت في العمارة الطينية وصنعاء للعمارة الحجرية واهملت باقي أنواع العمارة في المدن الأخرى.

كما ان المدن التاريخية الطينية في محافظة شبوة لا تختلف كثيرا عن مدن محافظة حضرموت ذات النموذج المعماري الأصيل الا انها بقيت مجهولة حتى من الباحثين والمهتمين بالعمارة.

لقد تعددت أنواع العمارة الاصيلة في محافظة شبوة بتنوع البيئة بين سهول وجبال وصحاري وهضاب حيث كل بيئة لها طابع خاص وشبوة تعد نموذجاً فريد يحتوي على أغلب الأنماط المعمارية المعروفة، هذا وقد قسمها الباحث إلى أنماط ومنها: العمارة الحجرية، والعمارة المختلطة، والعمارة الطينية الخالصة:

اولاً العمارة الحجرية: وتنقسم الى قسمين:

1- النموذج السوطي:

ومن المسمى فهو يدل على منطقة السوط التي تقع في الهضبة الشرقية او ما تسمى هضبة حضرموت، وهو منتشر في سوط بالعبيد، وسوط نعمان، وصعيد جردان، ومناطق أخرى في الجهة الشرقية للهضبة وهذا النوع من العمارة هو محط اهتمامنا وبحثنا .

وفية يتم البناء باستخدام الصفائح الحجرية الكلسية المحلية المتوفرة بكثرة في تلك المناطق ويستخدم الطين كمونه بين تلك الأحجار، ويعد هذا النموذج من اقدم النماذج المعمارية في المنطقة، كما يعد هذا النوع من البناء من الأكثر قدرة على مقاومة الظروف الطبيعية حيث يقال إن هذه البيوت والحصون والقلاع يعود تاريخ بنائها الى مئات السنين، قد يزيد عمرها عن خمسمائة عام على أقل تقدير ناهيك عن تميزه كنموذج بناء كونه نادراً في مناطق اليمن والدول الأخرى او لا يوجد نهائيا الا في مناطق محدودة من حضرموت وشبوة.

2- النموذج الكوري:

ينسب لمنطقة جبال الكور (كور العوالق) وهو يعتمد على البناء بالحجارة.

ثانياً: العمارة المختلطة:

حيث يقصد بالعمارة المختلطة هي العمارة التي يجتمع فيها نوعين من أنواع العمارة مثل الحجرية والطينية حيث تبنى الطوابق السفلية من الحجارة والعلوية من الطين.

ثالثا: العمارة الطينية الخالصة:

تتميز العمارة الطينية بطابعها الخاص والمتنوع منذ زمن بعيد حيث لازالت المدن الطينية والقلاع شاهد على ذلك، حيث يعد البناء الطيني هو الاوسع انتشاراً في المحافظة الى ما قبل انتشار البناء بالخرسانة فقد بداء يتراجع بشكل ملحوظ.

2.3 دراسة أحمد صالح الرباكي، التحصينات العسكرية في هضبة ووادي حضرموت، عمارة القرف والطين (دراسة مقارنة) مقدم الى ندوة المظاهر الحضارية العسكرية التقليدية في حضرموت – شبام ٢٠١٨م [8]

ركزت هذه الدراسة على الحصون والقلاع العسكرية وعمل مقارنة بين نموذجين أحدهم من الطين في الوادي والآخر من القرف في منطقة الضليعة، مع ذكر تفاصيل عن الحصون والقلاع العسكرية والاهتمام بوصف الجانب المعماري لتلك القلاع وبعض الجوانب العسكرية، ولم يتطرق إلى النواحي الإنشائية أو خواص المواد.

المبحث الأول: تطور عمارة القرف في هضبة ووادي حضرموت

أولا: عمارة القرف (هضبة حضرموت)

الهضبة الحضرمية هي عبارة عن سهول صخرية قد يكون ارتفاعها حوالي الف متر عن سطح البحر وتتميز بشحة وجود المياه، فقد كان للظروف والعوامل الطبيعية تأثير على المباني والمواد المستخدمة فتختلف اختلاف كبير عن العمارة في الوادي.

فقد اختار الباحث الهضبة الجنوبية بين وادي عمد ودوعن منطقة لدراسته، أو ما تسمى بريدة الدين او الضليعة حيث في هذه المنطقة تبنى القلاع المحصنة مستقلة وتكون حولها المباني السكنية حيث يعتبر الحصن رمز القبيلة، وما يميز الحصون نظامها الدفاعي سوا من خلال شكلها او تصميها المعماري، فالمباني في الهضبة الحضرمية تتميز بنمط معماري فريد، فالمادة الأساسية للبناء هي القرف.

حصون الهضبة غالبا يكون مخططها العام من مباني مربعة الشكل، والعديد من المباني والحصون القديمة عمرها قد يتجاوز 500 سنة الا ان الكثير يحتاج الى صيانة وترميم للحفاظ عليها.

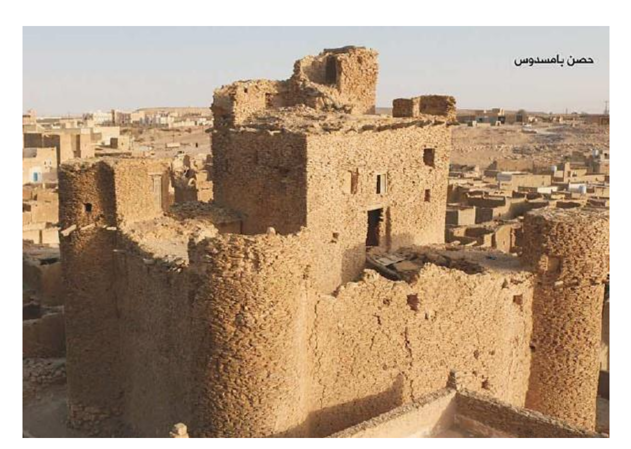
ثانيا: عمارة الطين (وادي حضرموت)

مر البناء في وادي حضرموت بثلاث مراحل وهي المرحلة القديمة، ومرحلة العصور الوسطى، ومرحلة العصور الحديثة، فكان من خصائص البناء في الثلاث المراحل استخدام اللبن كمادة أساسية للبناء لما يتميز به من خصائص ملائمة لوادي حضرموت، والمستوطنات والقرى عادة تكون وسط الوادي والحصون تكون على صخور مرتفعة، وتختلف أنماط البناء في الماضي بحسب نوع المبنى، فأغلب المباني تتكون من قاعدة حجرية مرتفعة والطبقات العليا تكون من اللبن ولكون الحجر مادة مكلفة يقتصر وجودها على القواعد والجدران المهمة فحضرموت تحتوي على فن معماري فريد، حيث فرضت عليهم البيئة استخدام مواد معينة في البناء والزخرفة مثل اللبن، والنورة، وغيرها.

المبحث الثاني: التحصينات العسكرية في هضبة ووادي حضرموت (نماذج دراسية)

أولاً: حصن بامسدوس : يعتبر حصن بامسدوس من المباني الدفاعية المهمة في هضبة حضرموت ويتميز بوجود أسوار ملتصقة به بها قلاع مدورة في الزوايا وتوجد فيه ساحة صغيرة تقع بين الأسوار وسلالم وممرات تربط الحصن بالأسوار، حيث يكاد حصن بامسدوس أن يكون هو الحصن الوحيد الذي توجد حولة قلاع دائرية في أركانه ومن أهم ما يميز حصون ريدة الدين عن حصون الهضبة هو مخططاتها الكبيرة كما هو موضح في الشكل (1-2)

ثانياً: حصن غرامة (الدكين): حصن الدكين يعتبر من أبرز المعالم في مدينة تريم، حيث يطل الحصن على الوادي ويحاط به سور مرتفع ، ويتكون المبنى من ثلاثة طوابق، وبسبب الإهمال فقد انهارت بعض الجدران، أنشي هذا الحصن في عهد ابن غرامه اليافعي، حيث كان يسيطر على تلك المنطقة كما هو موضح في الشكل (2-2).



الشكل (1-2) يوضح حصن بامسدوس



الشكل (2-2) يوضح حصن بن غرامة

2.4 دراسة أ.د.أحمد إبراهيم محتسب حنشور أستاذ العمارة القديمة – قسم الاثار جامعة عدن، مؤتمر شبوة تاريخ وحضارة – للدراسات والبحوث التاريخية والنشر، بعنوان تعدد الأنماط المعمارية القديمة وتقنياتها في محافظة شبوة [9]

وهذه الدراسة تاريخية وحددت الأنماط المعمارية مع أثر البيئية في اختيار الأنماط المعمارية، ولإشارة إلى بعض طرق البناء القديمة الا أنه لم يذكر او يتطرق للقرف ومواد البناء في الهضبة، وأشارت الدراسة الى التعريف بالممالك التي ظهرت في محافظة شبوة منها (اوسان، قتبان، حضرموت)، ودراسة الأنماط المعمارية القديمة للبناء في مدن شبوة الذي تعتمد على المواد المحلية في البناء كنتاج للتفاعل بين الأنسان وبيئته، مما يميزها بصفات معينة تدل على ثقافة وتقاليد المجتمع، وتعتبر العمارة المحلية مثال نموذجي للاختيار السليم لنمط البناء المتوافق مع طبيعة المنطقة.

أثر البيئة في تعدد الأنماط المعمارية:

تعتبر العوامل الطبيعية من العناصر الأساسية التي تشكل البيئة المحيطة بالإنسان، حيث تختلف هذه العوامل من منطقة لأخرى، إذ تساهم في توفير ظروف ملائمة تعزز من إمكانية العيش والتطور البشري، فالعوامل المناخية بالإضافة الى الموقع الجغرافي والتركيب الجيولوجي وطبوغرافية المنطقة، تلعب دوراً رئيسياً في تطور العمران، كما أن توفر مواد البناء والطبيعة النباتية لهذه المناطق يسهم في ازدهارها عمرانياً، واختلاف الناس في افكارها ومعتقداتها يغير ملامح المدن وعمارتها من مكان الى اخر، ولتوفر مواد البناء المختلفة من الأحجار الجيرية والجبس والجرانيت وغيرها من المواد التي لا يمكن الاستغناء عنها ساعدت في ظهور العمارة بشكل مختلف و جميل، وقد انتشرت في مدن شبوة عدة أنماط من العمارة وفقاً للمنطقة وخصائصها.

2.5 دراسة أ/ عيضة حسن صالح عبدالعزيز بلعكز بعنوان السكن في الهضبة (السوط)-شبوة-مديرية الطلح [10]:

أشارت الدراسة إلى أن مادة البناء الرئيسية في الهضبة هي الصفائح الحجرية (الصليل – القرف) حيث يوجد بأنواع مختلفة حسب مكان استخراجه، بحيث يتم الحفر في الأرض في أماكن معينة لاستخراجه ويسمى مكان استخراج الصليل بالمقراف.

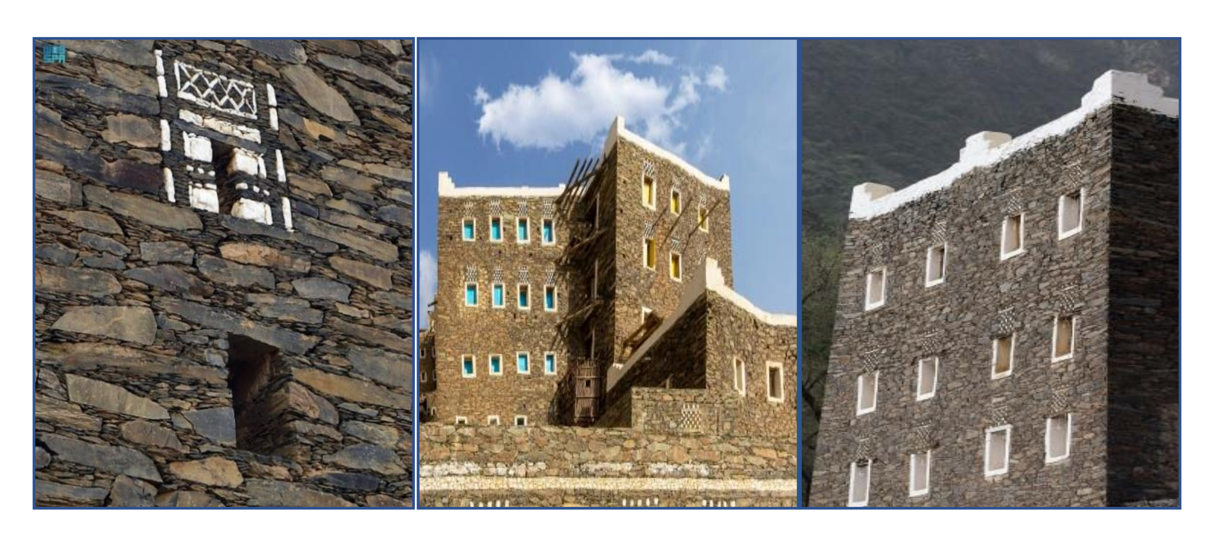
وتختلف المساكن في الهضاب الصوط عن أنواع المساكن التقليدية في الوديان، فأن في الوديان المنزل يوحد في جمع الوظيفتين السكنية والدفاعية، بما يتناسب مع ظروف الوديان، اما في الهضبة فمن

الأفضل بناء المباني السكنية والدفاعية كل منها مستقل عن الاخر، حيث تبنى القلاع والحصون ويبنى حولها المباني السكنية حيث تعد الحصون رمز للقبيلة ومصدر فخر ودليل قوة.

2.6 دراسة د. علي بن سالم بن عمر باهمام الأستاذ المشارك بقسم العمارة وعلوم البناء كلية العمارة والتخطيط جامعة الملك سعود - الرياض – المملكة العربية السعودية، بعنوان الخصائص المعمارية للمساكن التقليدية في المملكة العربية السعودية [11].

ركزت هذه الدراسة على تطور المساكن عبر الزمن وتطورت الأفكار المعمارية وتقنية استخدام مواد البناء المحلية المتوفرة من خلال خبرة أجيال من البنائين عن طريق التجربة والتطوير، فهذا البحث يهدف الى رصد وتوثيق مختلف الأنماط العمرانية والمعمارية التقليدية لكل من منطقة نجد، والمنطقة الغربية، والمنطقة الجنوبية، والمنطقة الشرقية بالمملكة العربية السعودية. كما يستعرض هذا البحث الى عرض خصائص المساكن والمستوطنات المعمارية، وتحليل العوامل التقنية والثقافية والبيئية.

- **المساكن التقليدية في المنطقة الجنوبية:**
- المنطقة الجنوبية تتكون من مستوطنات وتجمعات سكانية صغيرة منتشرة في جميع أنحاء الإقليم، حيث تعتبر المنطقة الجنوبية من أعلى مناطق المملكة كثافة سكانية لتوفر المياه وارض زراعية وتنوع في المناخ وطبيعة الأرض حيث أتاح تنوع في الأنماط المعمارية للمساكن وفي مواد البناء المستخدمة وطرق الانشاء المتبعة، فقد استخدم الطين في نجران، واستخدم الطين والحجر معا فيما يسمى بالبناء بطريقة (الرقف) في أجزاء من منطقة أبها وسراة عبيدة (وهو ما يشابه نموذج البناء في هضبة حضرموت)، واستخدم الحجر الخالص في بناء المساكن في فيفا والباحة وغيرها من المناطق الجبلية كما يوضح الشكل التالي (3-2) بعض نماذج المباني التي تشابه مباني هضبة حضرموت.



الشكل (3-2) التالي يوضح المباني التقليدية في منطقة عسير - السعودية

- **النسيج العمراني:**

النسيج العمراني في المستوطنات الواقعة في منطقة الهضبة (نجران) يتميز بتراص كتلة البنايات الطينية، بينما في المرتفعات تتجمع المساكن في مجموعات صغيرة حيث يتأثر النسيج العمراني بطبيعة الأرض.

- **الخصائص المعمارية للمساكن:**

مساكن الهضبة: خصائص وفكرة تصميم المساكن الطينية في نجران تشابه المساكن في منطقة نجد، الا انها تشيد من الطين المخلوط بالماء والتبن على شكل مداميك بعرض وارتفاع يتراوح بين 60-40 سم.

مساكن المرتفعات: في مرتفعات أبها وسراة عبيدة تبنى المساكن على المرتفعات لتوفير الحماية للمساكن من الأعداء ولتجنب السيول الجارفة، حيث يتم تشييد المساكن من الحجر في الاساسات وفي الدور الأول ثم يستكمل البناء بمادة الطين مع الرقف (الحجارة المسطحة).

مساكن فيفا: تشيد المباني في جبال فيفا التي تتميز بغزارة الامطار، على شكل أبراج أسطوانية من أربعة أدوار بجانب بعض المباني المستطيلة أو المربعة الشكل، يتم بناء هذا النوع من المساكن من الحجارة الجبلية غير المنتظمة حيث يتم رصها على بعضها بدون استخدام مونة وتملا الفراغات المتبقية بكسر الحجارة الصغيرة.

الباب الثالث

مواد وطريقة البناء

الباب الثالث

مواد وطريقة البناء

3.1 المقدمة:

تعد هضبة حضرموت من أبرز المناطق التي تحتضن تراثاً عمرانياً غنياً يعكس قدرة الإنسان المحلي على التكيف مع بيئته الطبيعية عبر تطوير مواد بناء وأساليب إنشائية تتناسب مع الظروف المناخية والجغرافية للمنطقة، وانطلاقاً من أهمية فهم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه المواد التقليدية، وتوثيق طرق الإنشاء التي تميزت بالبساطة والكفاءة، يهدف هذا الباب إلى دراسة لمكونات البناء التقليدي في هضبة حضرموت ضمن إطار بحثنا الموسوم بـ دراسة خواص مواد البناء وطرق الإنشاء للمباني التقليدية بهضبة حضرموت.

يكز هذا الباب على دراسة المواد المستخدمة مثل الطين والحجر، من حيث مصادرها وآلية تحضيرها، إضافة إلى استعراض مفصل لطرق الإنشاء التقليدية، بما يشمل مراحل البناء، أنماط الجدران والأسقف، كما يتناول الفصل تقنيات البناء المتبعة، مسلطاً الضوء على مدى كفاءتها في مواجهة العوامل البيئية، مما يساهم في استدامة المباني التقليدية حتى يومنا هذا.

3.2 دراسة استطلاعية للعمارة في هضبة حضرموت (الجول - السوط):

تختلف المباني في هضبة حضرموت وطرق تنظيم المستوطنات والقرى اختلاف كبير عن الوديان والسواحل في حضرموت، حيث اثرت خصائص المكان والظروف الطبيعية على الكثافة السكانية وطبيعة المباني والمواد المستخدمة في البناء، كما تتميز الهضاب بنمط حياة اقتصادية وثقافية مختلفة عن غيرها في الوديان والسواحل ، فسكان هذه المناطق هم في الأساس رعاة شبة رُحل انتقلوا إلى الحياة الزراعية شبة المستقرة وبنوا قراهم بالقرب من مزارعهم التي تعتمد على مياه الامطار الموسمية

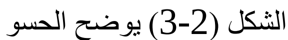
والهضبة الحضرمية هي عبارة عن سهول صخرية ترتفع الى ما يقارب الف متر عن سطح البحر، وتتميز بفقدانها التام لمصادر المياه حيث تعتمد إمكانية العيش فيها على قدرة سكانها على تجميع مياه الامطار الموسمية لأطول فترة زمنية ممكنة.

وتتميز هذه المناطق بعدم وجود سيول جارفه كما في الوديان، فيلجأ الناس الى تجميع مياه الامطار التي تهطل على المساحات الواسعة ذات الانحدار البسيط عن طريق توجيهها إلى أحواض مفتوحة تسمى (الكريف) يظهر في الشكل (3-1) جمعها كرفان والى أحواض صغيرة حفرت تحت سطح الأرض تشبه البئر لكن اصغر حجما تسمى حسو وجمعها أحساء يظهر في الشكل (3-2) حيث تكون العين على شكل دائري قطرها حوالي 1-1.5 م وبعمق حوالي 2م وهي عبارة عن طبقة صخرية وبعدها يأتي الصليل ويتوسع الحسو ويصل قطرة الى حوالي 3-6 م ويختلف من مكان الى اخر.



الشكل (3-1) يوضح الكريف





الشكل (3-2) يوضح الحسو

حيث تكون الاحساء والكرفان في مكان ارفع من القرية، لكي يصل ماء هذه الكرفان الى المنازل عن طريق الانابيب التي توضع على سطح هذه الكرفان وينتقل فيها الماء عن طريق ضغط الهواء والجاذبية دون الحاجة الى مضخات، ويعد الماء المجمع هذا هو الماء الوحيد الذي يستعمله السكان حتى يحين موعد موسم الامطار القادم.

وتقع الأراضي الزراعية في أسفل القرية لكي يتم توجيه المياه الفائضة من الكرفان اليها بالإضافة الى المياه تتوجه اليها مباشرة.

اما كثافة سكان مناطق الهضبة فهي منخفضة للغاية مقارنة بسكان الوديان وتتكون القرى من عدد محدود من المنازل والمسافات بين المنازل طويلة مقارنة بالوديان.

السوط والريدة هي مسميات محلية لتلك المناطق الصالحة لحياة الانسان في هضبة حضرموت الواسعة ومثال على ذلك ريدة الدين وهي المنطقة التي تقع بين وادي عمد ووادي دوعن، وسوط

باتيس وهي المنطقة التي تقع بين وادي عمد ووادي رخية، وسوط بالعبيد وهي المنطقة التي تقع بين وادي جردان وعرماء ودهر وحتى اطراف ريدة الدين.

يختلف تخطيط المساكن في الهضاب عن الوديان، فإذا كان المنزل الحصين الذي يجمع في بناء الوظيفتين السكنية والدفاعية، وهذا يعتبر الشكل المناسب من المنازل في ظروف الوديان، أما في مناطق الهضبة الواسعة كان حسب رؤيتهم من الأفضل بناء المنشآت السكنية والدفاعية كل منها مستقل عن الاخر [12].

للوظيفة الدفاعية كان يجري بناء القلاع الحصينة المستقلة (الحصون) كما تعد مكان لحفظ المون والمواد المعيشية وأدوات العمل .

ويعتبر الحصن رمزاً للقبيلة ومصدر فخر لها، حيث يشترك جميع افراد اسرة القبيلة في بناء الحصون بمالها وجهد رجالها، وتعتبر مكان منيع وحصين أثناء الحروب، ويتم تأمينها بأسوار خارجية وتوجد في بعض التحصينات مصادر ماء مثل الأحساء حيث يتم حفرة داخل أسوار الحصن لتوفير ما يلزم من ماء أثناء الحروب.

وتتركز المباني السكنية حول هذه التحصينات، وهي مباني صغيرة ذات طابق واحد أو طابقين وهذا ما يظهر جلياً لمن مر في هذه المناطق حيث يرى الحصون من مسافات بعيدة وعند الاقتراب ترى المنازل حول هذه الحصون، وخصوصا المباني القديمة تكون ملتصقة بالحصون ذات تنظيم دفاعي مميز حيث يكون مخرج واحد لكل هذه المباني او مخرجين وذلك لأسباب الخوف في العصر القديم حيث الحروب والنهب بين القبائل اما المباني الحديثة ابتعدت قليلاً عن الحصون لتوفر الامن والدولة.



الشكل (3-3) يوضح حصون الحمم وادي حول

3.3 المعالم الطبوغرافية لهضبة حضرموت:

تتميز هضبة حضرموت بتدرج طبوغرافي معقد ومتناسق حيث تتابع الأرض في مستويات وارتفاعات مختلفة، مما أثر بشكل مباشر على أنماط الاستيطان وطرق البناء التقليدي، ويمكن تلخيص هذه المعالم الطبوغرافية على النحو الآتي:

تتكون هضبة حضرموت من سلسلة من التدرجات الطبوغرافية التي تعكس تنوع التضاريس الطبيعية في المنطقة، والتي بدورها تؤثر على نمط الاستيطان واختيار مواقع البناء.

يبدأ التدرج من حواف الأودية حيث يوجد سطح مستوٍ نسبياً (يعرف محلياً بالجول) يعد الامتداد الأول لارتفاع الأرض فوق الوادي، ثم يبدأ ارتفاع يعرف بالحاجب، وهو جزء مرتفع قليلاً يمثل بداية الانفصال عن أرضية الوادي، يليه ارتفاع آخر يسمى الأقحل، وهو مستوى أعلى قليلاً، ويتكرر ظهور الجول كمساحة مستوية بعد كل ارتفاع، ويعقبه ارتفاع آخر يسمى الأبيض، ثم جول آخر، واخيراً يأتي أعلى مستوى في هذا التدرج ويسمى الأشعر، ويعد من أعلى المرتفعات او التدرجات في الهضبة، هذه التدرجات تشكل نظاماً متراكباً من السهول المرتفعة والهضاب المنفصلة بمرتفعات، وتساعد على فهم كيف تتوزع القرى والمباني تبعاً لدرجة الارتفاع وطبيعة الأرض ويظهر في الشكل (3-4) صورة توضح بعض التدرجات.

كما تنتشر في مناطق الهضبة (القور) ومفردها قارة، وهي تكوينات صخرية صغيرة تشبه الجبال، ولكنها أقل ارتفاعاً، غالباً ما تكون ذات شكل شبة دائري، وتعد من المعالم الطبوغرافية المميزة لهضبة حضرموت.



الشكل (3-4) صورة توضح بعض تدرجات التضاريس



الشكل (3-5) صورة توضح الأقحل



الشكل (3-6) صورة توضح الحاجب

3.4 المواد المستخدمة:

3.4.1 المادة الأساسية لبناء الجدران الصليل (القرف):

اعتمد سكان هضبة حضرموت (السوط) في بناء مبانيهم التقليدية على المواد المحلية المتوفرة في بناء مبانيهم التقليدية على المواد المحلية المتوفرة في بيئتهم، فإذا كان اللبن هو المادة الأساسية للبناء في الوديان فإن الصفائح الحجرية المحلية كانت المادة الرئيسية في الهضبة، هذه الصفائح تعرف محلياً باسم الصليل أو القرف والاسم العلمي (Shale) كما يوضح الشكل (7-3)، وتعد حجراً شبة صلب مستخرج من طبقات الأرض المختلفة.

الوصف الأكاديمي لحجر الشل (Shale): يعد حجر الشل من الصخور الرسوبية الطينية الدقيقة، ويتكون أساساً من معادن الطين، بالإضافة كميات متفاوتة من الكوارتز والكالسيت والمواد العضوية، يتميز حجر الشل ببنية الطبقية، حيث ينفصل بسهولة إلى صفائح أو طبقات رقيقة نتيجة خاصية التورق، ويظهر بالوان مختلفة تتراوح بين الرمادي والبني الداكن او حتى الأسود، وذلك حسب محتواه من المواد العضوية، يتشكل حجر الشل في البيئات الهادئة مثل قيعان البحيرات أو البحار، حيث تترسب المواد الطينية الدقيقة على مدى فترات طويلة، وتتميز هذه بمسامية نسبية قد تؤثر على امتصاص الماء، كما إن مقاومتها للضغط والتحميل تختلف بحسب كثافتها ومحتواها المعدني [13].



الشكل (7-3) صورة توضح الصليل

3.4.1.a مواقع استخراج الصليل (المقراف):

يستخرج الصليل من موقع خاصة تسمى محلياً المقراف كما يوضح الشكل (3-8)، ويقع في أعالي التلال (التباب)، يتوفر الصليل بأحجام وأشكال مختلفة حسب طبقات الأرض، ويجري تكسير الصفائح حسب الحاجة أثناء البناء، بعض الصفائح الكبيرة والرقيقة تشبه ألواح الكنتر الخشبية وتستخدم خصيصاً في تغطية أسقف المنازل.



الشكل (3-8) صورة توضح المقراف

3.4.1.b أنواع الصليل:

تختلف أنواع الصليل حسب مواقع استخراجها وخصائصها الفيزيائية، وأهمها ثلاثة أنواع رئيسية:

- **صليل الأقحل:** يتميز بلونه الرمادي أو الرمادي المصفر، ويستخرج من طبقات متماسكة، ويعتبر من أجود أنواع الصليل وأكثرها استخداماً حيث ان الاغلب يفضلون البناء بهذا النوع نظراً لقوته ومنظرة الرائع.
- **صليل الأبيض:** يتميز بلونه الأبيض وقوته الشديدة، وهو أقوى أنواع الصليل من حيث الصلابة، ورغم قوته الكبيرة الا انه لا يفضل كثيراً في البناء التقليدي لصعوبة تشكيله وعدم انتظام شكله مقارنة بصليل الأقحل.
- **صليل الاشعر:** يتميز بلونة المائل الى اللون الأصفر ويستخرج من مناطق مرتفعة تعرف بالأشعر، وهذا النوع أقل قوة ومتانة مقارنة بالأنواع السابقة، تستخرج منه صفائح كبيرة ومنتظمة الشكل، تستخدم غالباً في تغطية أسقف المنازل، نظراً لسهولة استخراجها على هيئة ألواح شبة الالواح الخشبية.



الشكل (3-9) يوضح صليل الأقحل



الشكل (3-10) يوضح صليل الأبيض



الشكل (3-11) يوضح صليل الأشعر

3.4.1.c طريقة استخراج الصليل:

تمر عملية استخراج الصليل بعدة خطوات منظمة:

- إزاحة الطبقة السطحية:

يتم أولا إزالة طبقة حجرية صلبة بسمك يتراوح بين 3-2 أمتار.

في السابق كانت الإزاحة تتم باستخدام أدوات يدوية مثل المعاول والمجارف والسبار الحديدية.

حالياً، تتم باستخدام المعدات الحديثة مثل الشيول والدركتر.

- كشف طبقة النشمة

بعد إزالة الطبقة السطحية، تظهر طبقة بيضاء رخوة تسمى النشمة، بسمك يتراوح بين 50-80 سنتيمتر، ويتم التخلص منها وتنظيف الموقع.

- الوصول الى طبقة الصليل:

بعد إزالة النشمة، تظهر طبقة الصليل المتماسكة والتي تختلف ألوانها حسب النوع، ويوضح الشكل (3-12) التالي الطبقات الثلاث.

- استخراج الصليل:
  - يتم غرس المنافيج (أسهم حديدية صغيرة مدببة من الأسفل) كما في طبقة الصليل.
  - يتم الطرق عليها بواسطة المطرقة أو المخلع حتى يتم تثبيتها.
  - تستخدم المنافيج لفتح الشقوق في الطبقة، وبعدها يتم استخدام السبرة الحديدية لهز الطبقة واقتلاع الصفائح.
  - تستمر العملية باستخراج طبقة تلو الأخرى حتى يتم جمع الكمية المطلوبة.





الشكل (3-12) يوضح طبقات الصليل

3.4.1.d الأدوات التقليدية المستخدمة في استخراج الصليل:

المنافيج: أسهم حديدية صغيرة مدببة من الأسفل وسميكة من الأعلى كما يظهر في الاشكال التالية أدوات استخراج الصليل، تستخدم لفتح شقوق في طبقة الصليل.

السبار الحديدية: أعمدة حديدية بطول حوالي 1.5 متر، مدببة من جهة واحدة، تستخدم لاقتلاع طبقات الصليل.

المطرقة: أداة معدنية صغيرة تستخدم لدق المنافيج وتثبيتها.

المخلع: أداة مماثلة للمطرقة لكنها أكبر حجماً وأثقل وزناً، تستخدم في الأعمال التي تتطلب قوة دق أكبر.



الشكل (3-13) يوضح المنافيج الشكل (3-14) يوضح السبار الشكل (3-15) يوضح المطارق (معول)

3.4.2 أنواع الطين المستخدم في المباني التقليدية الطين:

يعتبر الطين من المواد الأساسية التي اعتمد عليها سكان هضبة حضرموت في بناء مبانيهم التقليدية، وبحسب خصائصه واستخداماته، يوجد عدة أنواع من الطين المستخدم في البناء، أهمها الأنواع التالية:

3.4.2.a الطين الأبيض (القطاطة):

يعد الطين الأبيض من أجود أنواع الطين المستخدم في البناء، ويعرف محلياً باسم (القطاطة) كما يوضح الشكل (3-14)، يتميز بلونة الأبيض وقوة تماسكه العالية، مما يجعله ملائماً لعدة استخدامات منها:

- يدخل في تحضير مونة الربط بين صفائح الأحجار المستخدمة في بناء الجدران.
- يستخدم في التشطيبات الخارجية، حيث يمنح المباني لوناً أبيض مميزاً ويحميها من العوامل الجوية مثل الأمطار.
- يستعمل كذلك في التشطيبات الداخلية.
- يتم وضعة على أسطح المباني لمنع تسرب مياه الأمطار.

وعلى الرغم من قوته الكبيرة وتماسكه الممتاز، إلا أنه يحتاج إلى كميات مياه أكبر أثناء تحضيره مقارنة بالأنواع الأخرى من الطين.

3.4.2.b الطين الأحمر (الطفل):

يستخرج هذا النوع من الطين من الأراضي الزراعية (المعروفة محلياً بـ الاحجال ومفردها حجل)، ويشبه في خصائصه الطين المستخدم في مباني وادي حضرموت ويظهر في الشكل (3-15). ومن أهم خصائصه:

- يستخدم كمونة للربط بين صفائح الأحجار أثناء البناء.
- يفضل استخدامه في التشطيبات الداخلية.
- غير مناسب للتشطيبات الخارجية لأن الطين الأحمر لا يتمتع بمقاومة عالية ضد العوامل الجوية، خصوصاً الأمطار، أذ يتعرض للتآكل السريع مقارنة بالطين الأبيض.

3.4.2.c طين الزبر:

يعد طين الزبر من أقوى أنواع الطين، ويستخرج من مواقع معروفة محلياً باسم (الأقحل)، وهي تلال معروفة لسكان المنطقة وقد تم توضيحها سابقاً. أهم مميزات طين الزبر:

- يتمتع بصلابة عالية جداً ومتانة تفوق الأنواع الأخرى.
- استخدمه الأجداد في بناء الحصون لما يوفره من قوة وتحمل.
- يمكن استخدامه في التشطيبات الداخلية والخارجية.

وعلى الرغم من خصائصه الممتازة، إلا أن صعوبة استخراجه وندرته جعلت استخدامه محدوداً ونادر.



الشكل (3-16) يوضح الطين الأبيض القطاطة





الشكل (3-17) يوضح الطين الأحمر الطفل

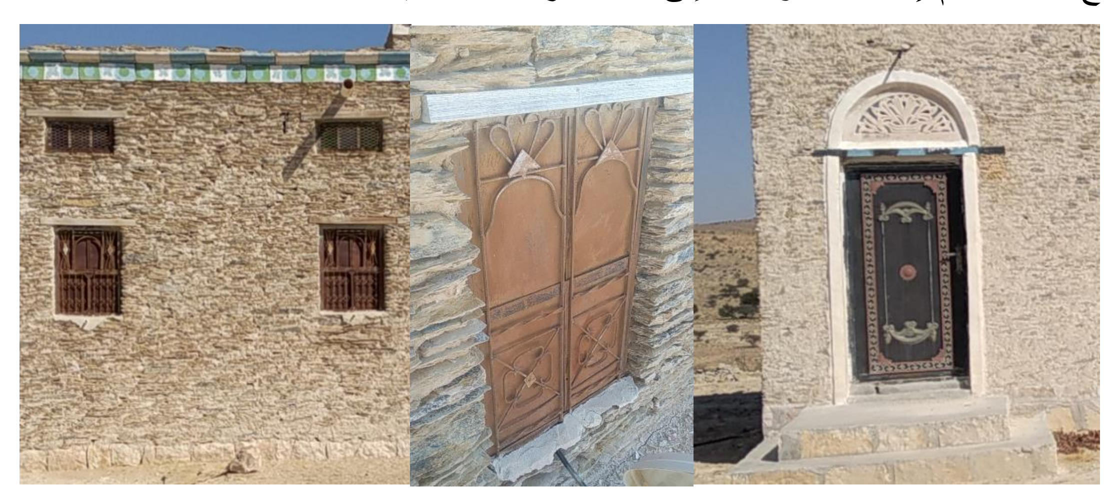
3.4.3 الأبواب والنوافذ في العمارة التقليدية:

في العمارة التقليدية بهضبة حضرموت، صنعت الأبواب والنوافذ من مواد محلية وأبرزها خشب شجرة السدر، والذي يعرف بصلابته وقدرته على مقاومة الظروف المناخية، وقد عرفت الأبواب والنوافذ التقليدية بزخارفها اليدوية والنقوش التي تعكس الطابع الفني والتراث المحلي، وغالباً ما كانت تصنع بأحجام تتناسب مع وظيفتها الدفاعية والمعمارية، خصوصاً في الحصون والمباني ذات الطابع الأمني، كما يوضح الشكل (3-16).



الشكل (3-18) يوضح أبواب قديمة مصنوعة من خشب السدر

وفي البيوت الحديثة تراجعت هذه العناصر التقليدية لحساب أبواب ونوافذ حديدية جاهزة تشترى من الورش والمحلات التجارية يوضح الشكل (3-17)، أيضا يستخدم المناور الزجاجية وتوضع في الجدار بين النوافذ والسقف وقريب الى السقف، وهي نوافذ حديدية مغلقة بالزجاج، وهي نوافذ لا تفتح، بل تستخدم لإدخال الضوء فقط إلى داخل الفراغات السكنية



الشكل (3-19) يوضح أبواب ونوافذ حديدية

3.4.4 الأخشاب والنباتات المستخدمة في البناء:

التبل (التبن): وهو القش الناتج من تصفية نبات البر(القمح) توضح الاشكال التالية، ويخلط مع الطين لتحسين التماسك وتقليل التشققات عند الجفاف، ويستخدم في المونة والتشطيبات، ومن عيوبه انه يجذب حشرة الأرضة (النمل الأبيض) مما يجعله أقل تفضيلاً في بعض الحالات.



الشكل (3-20) يوضح التبن

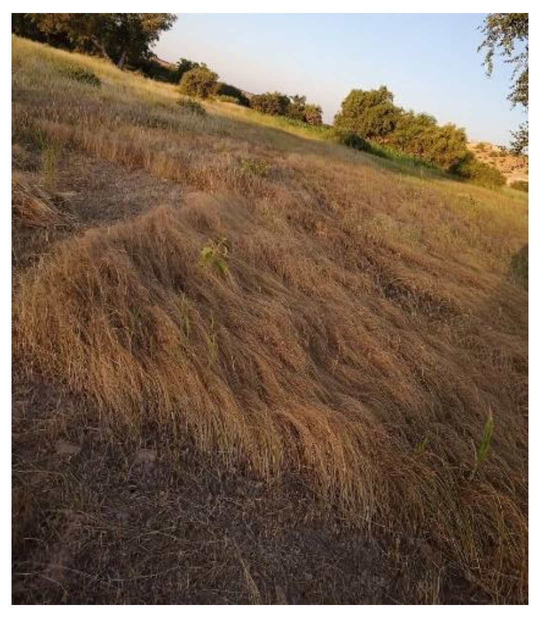


الشكل (3-21) يوضح نبات القمح

الذياد: وهو ناتج من تصفية نبات الطهف، ويتميز بسمك دقيق جداً لا يتجاوز 1-2 مم، ويعتبر أفضل من التبن من حيث الأداء والمظهر، إلا أن ندرته وسعرة المرتفع، يجعل البعض يلجؤون لاستخدام التبن في حال عدم توفر الذياد، ويظهر في الأشكال التالية:



الشكل (3-22) يوضح الذياد





الشكل (3-23) يوضح نبات الطهف

الاخشاب المستخدمة في أسقف المباني:

- خشب أشجار السدر (العلب) ويستخدم في صنع الأبواب والنوافذ قديماً بالإضافة الى استخدامها في السقوف
- خشب شجرة السرح تظهر في الشكل (3-22) وتستخدم عيدانها في السقوف خصوصاً في الحصون والمباني القديمة أما في وقتنا الحاضر لم تعد تستخدم الا نادراً.
- خشب شجرة الصر تظهر في الشكل (3-23) تستخدم عيدانها في السقوف.
- اغصان نبات المضاض، تستخدم في تغطية السقوف.
- الاخشاب الجديدة المستوردة المسماة عيدان بحر.

مميزات هذه الأنواع من الاخشاب:

- القوة والمتانة العالية مقارنة بالأنواع الأخرى من الاخشاب المحلية.
- مقاومة حشرة الأرضة (النمل الأبيض)
- الديمومة العالية.



الشكل (3-24) يوضح شجرة السرح





الشكل (3-25) يوضح شجرة الصر

3.5 عناصر المباني وطرق إنشائها:

3.5.1 الاساسات:

تعد الأساسات الركيزة الأساسية لأي بناء، حيث تعمل على نقل الأحمال الرأسية إلى الأرض بطريقة تضمن استقرار وثبات المبنى عبر الزمن، وتمثل أساليب بناء الأساسات في هضبة حضرموت نموذجاً للهندسة التقليدية التي تأقلمت مع طبيعة الأرض والظروف المحلية.

3.5.1.a المواد المستخدمة في بناء الأساسات:

تعتمد أساسات المباني التقليدية والحصون على الصخور الطبيعية الصلبة المستخرجة من مقالع خاصة موجودة في الهضبة، وتنتقى الأحجار بعناية لضمان:

- قدرة عالية على تحمل الأحمال
- مقاومة ممتازة لعوامل التعرية الجوية

يختلف نوع الحجر المستخدم بحسب الموقع الجغرافي والمواصفات المرغوبة في المبنى، حيث يفضل البناؤون أحجار بعض المناطق لتميزها من حيث اللون أو الصلابة

3.5.1.b طرق بناء الأساسات:

- **أساسات المباني القديمة والحصون:**

اذا كانت التربة مفككة أو غير متماسكة، يتم حفر التربة حتى الوصول الى طبقة أرضية صالحة للبناء، وهي غالباً قريبة من السطح، في كثير من الحالات يتم البناء مباشرة فوق الصخور الطبيعية الصلبة

وتبدا عملية بناء الأساس بوضع الأحجار بشكل متقابل على طول اتجاه الأساس، حيث يتم رص الأحجار بأحكام ويتم ملء الفراغات بين الأحجار بقطع الأحجار الصغيرة الناتجة عن تكسير الأحجار الكبيرة المستخدمة في الأساسات، وتعتمد هذه الطريقة على الحكمة الهندسية والخبرة المتوارثة، حيث يتم شكل الأحجار ووزنها بطريقة مدروسة لتحقيق عملية الترابط دوان استخدام مواد ربط مثل الطين والأسمنت كما يوضح الشكل (3-24).

ارتفاع أساس الحصون والقلاع الحربية يختلف من حصن الى آخر ولاكن في الغالب يزيد ارتفاع الأساس على المتر وقد يصل إلى اكثر من مترين.

عند الوصول الى الارتفاع المطلوب للأساس يتم كبسة بالأحجار والتراب ليشكل قاعدة يتم البناء عليها، بحيث يرتفع المبنى عن الأرض، أما لأغراض عسكرية ولحماية الحصن، او للحفاظ عليه من تأثير المياه الناتجة عن الأمطار.



الشكل (3-26) يوضح أساسات مباني قديمة

- **اساسات المباني الحديثة:**

يتم اختيار الأحجار بعناية من مواقع خاصة، بحيث تكون ذات أشكال قريبة الى المنتظمة وذات مظهر جميل، لإبراز الواجهة الجمالية للمبنى.

بعد استخراج الأحجار ونقلها الى موقع البناء ، يتم إجراء عملية (تقريع)، وهي تهذيب الأحجار وجعلها أكثر انتظامًا باستخدام أدوات يدوية أو آلية مثل مناشير الكهرباء، والشكل(25-3) التالي يوضح عملية استخراج الأحجار.





الشكل (27-3) يوضح عملية استخراج الأحجار المستخدمة في الاساسات

تتم إزالة الطبقة السطحية المفككة للتربة فقط، حيث إن طبيعة الأرض في الهضبة قوية بطبيعتها ولا تتطلب حفراً عميقاً، أيضاً المباني ليس بالارتفاعات الكبيرة ولا توجد أحمال كبير تسبب في هبوط التربة.

تبدأ عملية البناء بوضع الأحجار المصقولة ذات الواجهة الجمالية الى الخارج، وتربط الأحجار باستخدام مونة أسمنتية، ويتم تلبيساها من الداخل بأحجار ليس بالضروري منتظمة الشكل ويتم ملء كل الفجوات بمخلفات تكسير الأحجار والمونة لضمان متانة البناء.

يعتمد ارتفاع الأساس على رغبة المالك وحسب احتياج المبنى، حيث يحسب ارتفاع الأساس بما يسمى (الحبال)، حيث يمثل كل حبل صفاً أفقياً من الأحجار، ويقال أن الأساس على حبلين أو ثلاثة وهكذا.

عادةً ما يكون عرض أساس المباني الحديثة حوالي ٥٠ إلى ٦٠ سم، بينما في الحصون والمباني القديمة قد يتجاوز المتر الواحد.

بعد بلوغ الارتفاع المطلوب، تتم تسوية سطح الأساس بمونة أسمنتية، ثم يتم كبس أو تسوية أرضية المبنى حتى ارتفاع بالتراب، ليكون جاهزاً لاستقبال الجدران، كما يظهر في الشكل (3-26).



الشكل (3-28) يوضح أساسات لمباني حديثة

ملاحظة:

في البناء القديم، لم تُستخدم مواد ربط، مما يدل على براعة البنائين في خلق توازن طبيعي بين الأحجار ورصها بشكل متداخل.

في البناء الحديث، تمت الاستفادة من مواد الربط (الأسمنت) لتحقيق سرعة أكبر في البناء وتحسين التماسك.

3.5.2 بناء الجدران في مباني الهضبة:

بعد الانتهاء من تأسيس الأساسات، تبدأ المرحلة التالية وهي بناء الجدران، تبنى الجدران في مباني هضبة حضرموت باستخدام الصفائح الحجرية المعروفة باسم (الصليل او القرف) التي يكون سمكها (ارتفاعها) حوالي (2-10) سم تقريباً حيث لا يوجد شرط وانما على حسب ما يراه مناسب المعلم، تتم هذه العملية عبر رص الصفائح الحجرية أفقياً بطريقة مدروسة، بحيث يشكل البناء صفين متوازيين متلاصقين ومتداخلين مع بعضهما البعض، مع ملء الفراغات بينهما بقطع صغيرة ومتوسطة من الصليل المكسر وخليط المونة الطينية، وفي نهاية كل دور يوضع حزام من البلك الأسمنتي لكي يشكل منظر جمالي للبيت، أيضاً في نهاية الجدار أي آخر دور توضع طبقة من الأحجار

ذات سمك حوالي 5 سم وتسمى محلياً صروف وتوضع لكي تحمي الجدار وصفائح الصليل من التساقط وتربط هذه الصروف إما بالأسمنت أو بالطين كما يظهر في الشكل (3-27).

يبلغ سمك الجدار في المباني السكنية الحديثة عادة بين 40-50 سم، أما الحصون قد يزيد السمك قليلاً ويقل كلما زادت عدد الأدوار.



الشكل (3-29) يوضح وضع طبقة الصروف على الجدار

3.5.2.a مكونات بناء الجدران:

- **الصفائح الحجرية (القرف او الصليل):**

يتم استخراج الصفائح من المقالع المحلية (المقراف) ثم تكسر إلى قطع مناسبة للبناء وتجهز بأحجام مختلفة حسب موضع استخدامها في الجدار.

- **مونة الربط:**

تستخدم مونة طينية لربط الصفائح ببعضها البعض، تتكون المونة من الطين الأبيض او الطين الأحمر الممزوج بالقش.

الطين الأبيض (القطاطة): يحتاج الى نقع بالماء لمدة يوم او نص يوم في حوض مخصص يسمى (مخمر) قبل الخلط مع القش (التبل او الذياد)، والمخمر قد يكون من الصفائح بحيث يشكل على شكل حوض، او من عجلات الشيول الكبيرة كما يظهر في الشكل (3-28)، حيث يمتاز بقوة تماسك عالية، ويتطلب إضافة ماء بنسبة تتجاوز 50% من وزن الطين لكي تسهل عملية الخلط، حيث ان نسب الماء والقش توضع تقديرية وحسب خبرة العمال ولا يلزم نسب معينة لكون هذه المونة تستخدم للربط بين الصفائح.

الطين الأحمر: أسهل في الخلط ولا يتطلب نقعاً طويلا مثل الطين الأبيض، ويضاف إلية ايضاً القش لتحسين خصائصه





الشكل (3-30) يوضح المخمر وخلط الطين

3.5.2.b طريقة تنفيذ بناء الجدار:

يبدأ العمال المهرة بوضع صفين متوازيين من الصفائح على قاعدة المبنى (الأساس)، مع عناية كبيرة في تسوية الاسطح الخارجية لكي يظهر الجدار بشكل منتظم، ويتم حشو الفراغات بين الصفين بقطع صغيرة من الصليل المكسر مع المونة الطينية، لضمان تداخل ميكانيكي أقوى بين الصفين، وتحقيق ترابط هيكلي فعال، وتستخدم المونة بين الصفائح وأثناء الحشو لتثبيت الصفائح مع بعضها البعض وممنع الفراغات الهوائية التي قد تضعف الجدار مستقبلاً.

ويتم بناء الجدار طبقة طبقة (صفاً صفاً) مع الحرص على المحافظة على مستوى أفقي منتظم وتداخل الأحجار بين كل صفين لزيادة التماسك الهيكلي. وتوضع الزوايا الحديدية في الأركان وتربط بينها خيوط لكي يحافظ على استواء الجدار المحافظة على زوايا المبنى.



الشكل (3-31) يوضح عملية بناء الجدار

يمتاز هذا الأسلوب التقليدي في البناء بدرجة عالية من المتانة والمرونة مع التغيرات البيئية، كما أن استخدام مواد طبيعية بالكامل يجعل هذه المباني أكثر اندماجاً مع البيئة المحلية وأقل عرضة للأضرار مع مرور الزمن. والأشكال التالية توضح الجدران



الشكل (32-3) يوضح جدار قيد الإنشاء

3.5.3 السلالم (الدرج) في مباني هضبة حضرموت:

تعد السلالم من أهم العناصر الإنشائية في مباني الحصون والمصانع والمساكن التقليدية، حيث وظيفة الربط الرأسي بين الطوابق المختلفة للمبنى، وقد أولى البناؤون التقليديون في حضرموت عناية خاصة بتصميم وبناء السلالم بما يتناسب مع طبيعة البناء المحلي والإمكانات المتوفرة.

3.5.3.a السلالم في الحصون والمصانع التقليدية:

يتكون السلم التقليدي عادة من ثلاث إلى أربع قلبات (ممرات درج تفصلها أرضيات صغيرة)، بحيث توفر اتصالاً وظيفياً بين الأدوار المختلفة.

ترتكز درجات السلم على عوارض خشبية قوية، تستخرج من الأشجار المحلية مثل شجرة السدر(العلب)، شجرة السرح، وغيرها من الأشجار ذات الخشب الصلب.

تثبت العوارض الخشبية داخل الجدران المحيطة بساحة السلم، سواء كانت جدراناً خارجية أو داخلية، بطريقة مدروسة لضمان قوة التحمل والثبات.

تبنى الدرجات نفسها فوق العوارض باستخدام صفائح حجرية من مادة الصليل، حيث يتم تشكيلها بعناية لتتناسب مع أبعاد العتبات وتحقق سطحاً مستوياً مناسباً للمشي.




الشكل (33-3) يوضح درج في حصن قديم

3.5.3.b السلالم في المباني السكنية الحديثة:

مع تطور البناء الحديث في الهضبة، ظهرت بعض التغيرات في طريقة إنشاء السلالم، خصوصاً في المباني السكنية، فبدلاً من استخدام الأخشاب المحلية، أصبحت العوارض الخشبية تستورد من الخارج، وغالباً ما تكون مصنوعة من أنواع محسنة ومعالجة من الخشب، مثل أخشاب الصنوبر.

كما أقتصر تصميم السلالم الحديثة غالباً على قلبتين فقط، بعكس السلالم التقليدية التي كانت تتسم بتعدد القلبات بما يتناسب مع ارتفاع المبنى والمساحة المتوفرة.

يظل الأسلوب التقليدي في بناء السلالم دليلاً واضحاً على حنكة البنائين الأولين في استغلال المواد الطبيعية المتوفرة بكفاءة عالية، مع مراعاة الجوانب الوظيفية والجمالية للمبنى.

3.5.3.c الاعتبارات الهندسية عند بناء السلالم التقليدية في هضبة حضرموت:

عند تصميم وبناء السلالم في المباني التقليدية بحضرموت، كان البناؤون يراعون عدداً من العوامل الهندسية المهمة لضمان الكفاءة والمتانة، ومن أهمها:

- توزيع الأحمال بشكل متوازن: حيث تثبت العوارض الخشبية بعناية داخل الجدران، بما يضمن توزيع وزن السلم بشكل متساوٍ وعدم تركيز الأحمال في نقطة واحدة مما قد يودي إلى تشققات أو انهيار جزئي.
- انحدار السلم (الزاوية): كانت الزاوية بين الدرج ولأرضية مصممة بحيث تسمح بالصعود والنزول بسهولة دون تعب كبير، لا تكون الزاوية حادة جداً ولا مسطحة جداً.
- اختيار المواد المناسبة: يتم اختيار الأخشاب الصلبة التي تتحمل الرطوبة وتقلبات الطقس، والصليل لبناء الدرجات.
- الربط المتقاطع بين العوارض والجدران: لضمان صلابة البناء، كان يتم إدخال نهايات العوارض إلى عمق كافٍ داخل الجدران، وتثبيتها بشكل محكم داخل الصفائح.
- التناسب بين ارتفاع الدرجة وعرضها: حيث كان ارتفاع الدرجة الواحدة (الارتفاع الراسي) وعرضها (الامتداد الأفقي) يحسب بعناية بما يناسب طبيعة الحركة وسهولتها داخل المبنى.

3.5.4 السقوف:

تعد السقوف أحد العناصر الأساسية والهامة في نظام البناء التقليدي في حضرموت، سواء في الحصون أو المباني السكنية، إذ تقوم بدور رئيسي في حماية المبنى من العوامل الجوية وتوزيع الأحمال على الجدران الحاملة.

3.5.4.a السقوف في الحصون والمباني التقليدية:

كانت سقوف الحصون تبنى اعتماداً على المواد الطبيعية المتاحة محلياً، من أخشاب أشجار البيئة مثل السدر، والسرح، والصر، وهي أنواع معروفة بصلابتها ومقاومتها للتآكل والعوامل الطبيعية، ولزيادة متانة هذه الأخشاب، كان يتم قطعها في فصل الشتاء، إذ أن الخشب المقطوع شتاءً لا تتعرض أليافه لهجوم الأرضة (النمل الأبيض)، مما يجعله أكثر صلابة وطول عمر.

آلية تنفيذ السقف التقليدي:

- تركيب العوارض الخشبية الرئيسية (الجسور الرئيسية):

ترص هذه الفروع فوق الفراغ المراد تغطيته بالاتجاه القصير بين الجدران، بحيث تمتد من جدار إلى آخر.

توضع العوارض بجانب بعضها البعض مع ترك مسافات صغيرة بينها، ويراعي أن تكون مسافة الارتكاز داخل الجدران كافية لضمان نقل الأحمال بأمان.

إذا كان البحر كبير أو لا توجد عيدان طويلة بما يكفي فيتم عمل سهم ويسمى دعمة، او سارية (أي عود قوي يوضع في وسط البحر ويتم إسناد العوارض الرئيسية علية)، وفي أعلى السهم توجد قطعة خشب كبير تساعد على استناد العوارض الرئيسية ويسمى محلياً (كبش) ويوضح الشكل (3-37) والآن مع توفر الريلات الحديد فقد استخدمت في البحور الكبيرة في البناء الحديث.

- تركيب الجسور الثانوية:

فوق العوارض الخشبية الكبيرة، ترص فروع الأشجار أو الأغصان الصغيرة بشكل متعامد، بحيث تغطي كامل الفراغ وتمنع وجود فجوات.

في بعض الأحيان، بدل من الفروع يتم استخدام صفائح حجرية خفيفة الوزن من مادة الصليل (القرف)، خصوصاً في الحصون الكبرى، وذلك لتوفير مزيد من الصلابة.



الشكل (3-34) يوضح سقف من عيدان السدر وأغصان المضاض





الشكل (3-35) يوضح سقف من عيدان السدر والسرح مغطى بالصليل

- التغطية بطبقات الطين:

توضع طبقة طينية مكونة من خليط طين وماء وقش (تبل او ذياد) فوق الأغصان أو الصفائح، ويبلغ سمكها حوالي 10 سم او حسب الحاجة وما يراه المعلم مناسب، فوق هذه الطبقة توضع طبقة من التراب الجاف بسمك نحو 5 سم لعزل السقف عن العوامل الجوية.



الشكل (3-36) يوضح سقف مغطى بالصليل



الشكل (3-37) يوضح السهم او الكبش

ملاحظة معمارية:

في الحصون، كان يتم تنفيذ بروز سقف الطابق قبل الأخير، حيث تمتد العوارض الخشبية خارج الجدران، مما يسمح ببناء جدران الطابق العلوي على هذه البروزات كما يوضح الشكل (3-38)، ويحقق هذا البروز توسيعاً دفاعياً بالإضافة الى وجود فتحات خاصة خصوصاً فوق الباب وتسمى (المرادي) تستخدم في الدفاع عن الحصن (مثل رمي الحجارة على الأعداء المهاجمين عند الأبواب).



الشكل (3-38) يوضح بروز السقف في الحصون

3.5.4.b السقوف في المباني السكنية الحديثة:

مع تطور وسائل البناء أصبحت السقوف تبنى باستخدام مواد مستوردة ومنظمة بشكل أكبر، ومن أبرز الفروقات:

استخدام عيدان خشبية مستوردة منتظمة الشكل كعوارض رئيسية، كما في الشكل (3-39).

تغطية العوارض بطبقة من الألواح الخشبية المستوردة، مما يعطي السقف سطحاً مستوياً وأملساً وسرعة أكبر في التنفيذ.

وضع عازل بلاستيكي مقاوم للمياه فوق الألواح الخشبية، ثم يتم تغطيته بطبقة من الطين الأبيض (القطاطة) بسمك نحو 5 سم.





الشكل (3-39) يوضح السقوف الحديثة

ملاحظات مهمة:

- الخواص الإنشائية للأخشاب المستخدمة السدر، السرح، الصر، بمقاومتها العالية للرطوبة والحشرات، وكثافتها عالية مما يجعلها ملائمة لتحمل الأحمال الانشائية.
- توفر الطبقة الطينية فوق السقف التقليدي خواصاً عازلة ممتازة، أذ تمنع تسرب الماء، وتقلل من نفاذية الحرارة، وتحسن من الراحة الحرارية داخ المبنى.
- التكامل الإنشائي حيث يتم إدخال نهايات العوارض الخشبية في سمك الجدار، مما يخلق نظاماً متكاملاً يقوم بتوزيع الأحمال بشكل متوازن على كامل الجدار، وهو من أسرار صمود المباني التقليدية لمئات السنين

3.5.5 التشطيبات:

تعد التشطيبات المرحلة النهائية في تنفيذ المباني التقليدية والحديثة، وهي مهمة لتحسين الأداء الوظيفي والجمالي للمبنى، بالإضافة إلى توفير الحماية من العوامل البيئية مثل الأمطار والرطوبة والحرارة، وتختلف التشطيبات بين المباني التقليدية والحديثة بحسب المواد المتوفرة وأساليب البناء المتبعة.

يمكن تقسيم التشطيبات الى عدة أقسام رئيسية كما يلي:

3.5.5.a تشطيبات الجدران الخارجية:

بعد الانتهاء من الجدران بشكل كامل، يبدأ العمال بتحضير خلطة طينية مشابهة للمونة المستخدمة في البناء، تتكون هذه الخلطة من الطين الأبيض (القطاطة) الممزوجة بالماء والقش (التبل والذياد)، ويتم تغليف الجدران الخارجية بها بشكل كامل كما يظهر في الشكل (3-40)، تهدف هذه الطبقة إلى حماية الجدران الخارجية من عوامل التعرية والظروف المناخية، بالإضافة إلى تحسين مظهر المبنى الخارجي.





الشكل (3-40) يوضح بيت مطلي بالطين الأبيض



الشكل (3-41) يوضح حصن ومصنعة بعد إعادة ترميمهم

3.5.5.b تشطيبات الجدران الداخلية:

- في المباني التقليدية:

بعد الانتهاء من الجدران، يترك المبنى لمدة تتراوح بين شهرين إلى ثلاثة أشهر قبل بدء عملية التشطيبات الداخلية، الغرض من هذه المدة هو السماح لهبوط الجدران الطفيف الناتج عن انضغاط الصفائح تحت الأحمال، مما يقلل من احتمالية حدوث التشققات لاحقاً، تبدأ عملية التشطيب الداخلي أولاً بخلطة من الطين الأحمر (الطفل) مع القش، وتوضع طبقة أولى لتسوية السطح، يلي ذلك وضع طبقة ثانية تتكون من خليط من الطين الأبيض (القطاطة) المنخول والرمل الناعم، للحصول على طبقة ملساء وناعمة، تستخدم إضافة الرمل إلى الخلطة لتقليل نسبة التشققات وتحسين مقاومة الطبقة النهائية، تسوى هذه الطبقة بعناية في عملية تسمى محلياً (الخشع)، وقد تترك كما هي او يتم طلاؤها بطبقات من الدهانات لاحقاً.

- في الحصون التقليدية:

يتم عمل تغليف (محظ) بسيط للجدران باستخدام عجينة من الطين الأبيض او الأحمر او الزبر، حسب ما هو متوفر، والهدف من ذلك توحيد سطح الجدران دون الاهتمام الكبير بالجودة الجمالية والمظهر، إذ كان الهدف الأساسي تحقيق سطح متماسك ومستوٍ لحماية البناء.

3.5.5.c تشطيبات الارضيات:

تتم تسوية الأرضيات بطبقة طينية ممزوجة بالقش (التبل او الذياد) لتكوين سطح صلب نسبياً، في بعض الحالات، يتم وضع طبقة من الأسمنت فوق الطبقة الطينية للحصول على سطح نظيف وصلب.

من الضروري قبل وضع الأسمنت أن يتم تغطية الأرض بطبقة عجينية من الطين، لأن الأسمنت لا يلتصق مباشر بالصفائح الحجرية (الصليل) مما يؤدي الى حدوث تشققات وفصل الطبقة الإسمنتية لاحقاً، خاصة في الأماكن الرطبة، في بعض المباني الحديثة يتم استبدال هذه الطريقة التقليدية بتبليط الأرضيات باستخدام البلاط الأسمنتي أو السيراميك، سعياً لتحقيق أداء وظيفي ومظهر جمالي أعلى.

3.5.5.d تشطيبات الأسقف:

في المباني القديمة، غالباً ما تترك الأسقف دون تغطية داخلية، بحيث تبقى العوارض والفروع الخشبية أو الصفائح الحجرية ظاهرة، أما في المباني السكنية الحديثة، فقد أصبح من الشائع تشطيب الأسقف باستخدام طبقات من الدهانات لتحسين المظهر الداخلي.

ملاحظات مهمه:

- أهمية استخدام القش في الخلطات الطينية حيث يعمل القش كمادة تقوية طبيعية تمنع التشققات الكبيرة وتحسن من تماسك الخلطة.
- تقنيات التشطيب الحديثة حسنت الأداء الوظيفي، ولكنها فقدت الطابع البيئي الذي توفره المواد الطبيعية التقليدية.
- التشطيبات ودورها في استدامة المباني، حيث إن المواد التقليدية كانت أكثر توافقاً مع البيئة المحلية وأطالت عمر المباني بطريقة طبيعية.

3.6 دراسة حالة لحصن تقليدي في هضبة حضرموت:

3.6.1 مقدمة عن الحصن (تعريف عام):

يعد حصن باكفل واحداً من أبرز المعالم المعمارية التقليدية في محافظة شبوة - مديرية الطلح، وتحديداً في قرية (الصبيقة)، يرتبط هذا الحصن يرتبط هذا الحصن بقبيلة الباجحاو- ال هميم- بلعبيد، ويشكل رمزاً للكرامة والهوية والانتماء، ورغم عدم توثيق تاريخ دقيق لبنائه، الا ان المعلومات المتوارثة تشير الى أن الجزء العلوي أي الدور الرابع وما بعدة تم إكماله قبل حوالي 150-200 سنة تقريباً، والشكل (3-42) يوضح الحصن.





الشكل (3-42) يوضح حصن باكفل

3.6.2 الأهمية الوظيفية والاجتماعية:

- وظيفية دفاعية: كونة برجاً مراقباً يسيطر على المنطقة ومداخلها بالكامل، ويؤدي دوراً أمنياً بارزاً في حماية السكان.
- وظيفة تخزينية: استخدم لتخزين الحبوب، والمؤن، والأسلحة، حيث لا زال يستخدم لتخزين الحبوب في الوقت الحاضر.
- وظيفة سكنية: خصصت الأدوار العليا للسكن والاستقبال.
- وظيفة رمزية: يمثل الحصن رمزاً وهوية للقبيلة حيث تدل الحصون على هيبة القبيلة.

3.6.3 الموقع العام والتخطيط:

الموقع: قرية الصييقة – مديرية الطلح – محافظة شبوة.

شكل الحصن: مربع الشكل تقريباً، بأبعاد (6 م x 6 م).

الاتجاه: يقع الباب الرئيسي في الجهة الشرقية أو الشمال الشرقي من المبنى.

عدد الطوابق: خمسة طوابق بالإضافة الى الملحق والمصبح (غرفة مراقبة علوية).

3.6.4 التوزيع الداخلي:

الدور الأول والثاني والثالث: يتكون كل دور من أربعة مخازن صغيرة لتخزين المواد الغذائية والسلاح.

الدور الرابع: يحتوي على غرفة كبيرة تسمى (الفاضلة)، تستخدم للجلوس والاستقبال، الى جانبها غرفة صغيرة.

الدور الخامس (الملحق): يتكون من سطح جزئي مغطى، يشكل امتداداً وظيفياً للطابق الرابع.

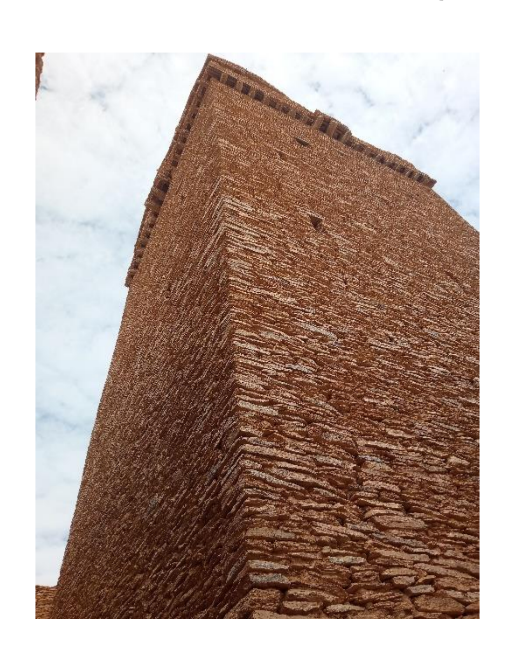
المصبح: غرفة مراقبة صغيرة تقع في أعلى الحصن، وتستخدم للرصد الأمني ليلاً ونهاراً من قبل شخص يسمى (راتب) حيث يتبادلون افراد القبيلة دور الحراسة.

3.6.5 العناصر الدفاعية:

- العكر: فتحات مثلثة الشكل موزعة على الواجهات، تستخدم لوضع فوهات البنادق لإطلاق النار أثناء الدفاع، ورصد التحركات، وتسمح للروية من الداخل دون كشف مكان الرامي. ويوضح الشكل (3-43).
- البروز المعماري: يلاحظ في الدور العلوي بروز خشبي خارجي يستغل لتوسعة الغرف وتحقيق رؤية أوسع للدفاع، كما يضمن عدم تسلق أي احد للحصن، يوضح الشكل (3-44).
- المردئ: فتحة دفاعية (فتحة إسقاط عمودية) في أعلى الحصن، حيث يوجد مردى واحد في كل اتجاه لتعزيز السيطرة على الحصن، تستخدم لرمي الحجارة، والتصدي لاي هجوم، يوضح الشكل (3-45)




الشكل (3-43) يوضح العكر

الشكل (3-44) يوضح البروز المعماري والمردى



الشكل (3-45) يوضح المردى من داخل الحصن

3.6.6 المواد المستخدمة في البناء:

- الأساس: من أحجار قوية غير مثبتة بمونة، بارتفاع 1.5 م، كما يوضح الشكل (3-46).
- الجدران: مبنية من صفائح حجرية مسطحة (صليل)، بعرض تقريبي 50 سم يتناقص تدريجياً إلى حوالي 30 سم في الأدوار العليا.
- الأبواب: الباب الرئيسي من خشب السدر المسمى (حمر) بارتفاع 1.8 م وعرض 1.5 م، مزخرف بنقوش تقليدية، اما أبواب المخازن تتكون من خشب السدر او اغصان النخيل المرصوصة، او غيرها من الأخشاب بأبعاد الارتفاع حوالي 80 سم وعرض 50 سم، كما يظهر في الشكل (3-47).
- النوافذ: توجد نوافذ مكونة من خشب السدر وخصوصاً في الغرفة الكبيرة، وتوجد فتحات صغيرة مستطيلة الشكل، تترك دون تركيب نوافذ، تستخدم للتهوية والمراقبة.
- الأسقف: العوارض الخشبية (الجسور): من خشب السدر (للجسور الكبيرة في الطوابق السفلى)، ومن خشب السرح في الفراغات الصغيرة.
- الغطاء العلوي: يتكون من صفائح الصليل التي توضع فوق العوارض الخشبية وتغطى بطبقة من الطين.



الشكل (3-46) يوضح ساس الحصن





الشكل (3-47) يوضح أبواب الحصن




الشكل (3-48) يوضح سقوف الحصن

3.6.7 الحالة الراهنة:




الشكل (3-49) يوضح تهدم بعض أجزاء الحصن في الطابق العلوي

يعاني الجزء العلوي من الحصن من تدهور هيكلي بفعل عوامل التعرية الطبيعية، وخاصة الأمطار الموسمية، الى جانب غياب تام لأعمال الترميم والصيانة، مما أدى الى تهدم بعض الأجزاء، كما يظهر في الشكل السابق (3-49).

3.7 مميزات وعيوب البناء التقليدي في هضبة حضرموت:

يعتمد البناء التقليدي في هضبة حضرموت على مواد طبيعية محلية، وقد أفرز هذا النمط من البناء مميزات معمارية ووظيفية عدة، الى جانب بعض العيوب التي ظهرت نتيجة العوامل المناخية أو الزمنية. ويمكن توضيح ذلك كما يلي:

3.7.1 المميزات:

- توفر المواد الأولية حيث تعتمد المباني على مواد محلية مما يقلل من التكاليف ويوفر استدامة في الإنشاء.
- عزل حراري طبيعي توفره سماكة الجدران والمواد المستخدمة مما يحافظ على درجة حرارة معتدلة داخل المبنى صيفاً وشتاءً.
- الانسجام مع البيئية بحيث تتناغم هذه المباني مع البيئية الطبيعية من حيث الشكل واللون، ما يمنحها طابعاً جمالياً اصيلاً.
- الاستدامة والعمر الطويل حيث تتميز مباني الصليل بعمر افتراضي طويل، اذ توجد نماذج قائمة لأكثر من 600 عام ما تزال متماسكة.
- سهولة التنفيذ، لا تتطلب عملية البناء مهارات فنية عالية، إذ تعتمد على خبرات محلية متوارثة الأجيال.
- قابلية الصيانة والترميم حيث يسهل ترميم المباني التقليدية باستخدام نفس المواد المحلية، دون الحاجة الى تقنيات او أدوات معقدة.
- توفر استدامة بيئية كون المواد المستخدمة طبيعية وغير صناعية فإنها تعتبر صديقة للبيئية ولا تلوثها.
- تكاليف بناء منخفضة بالمقارنة مع البناء الحديث فإن كلفة إنشاء وصيانة المباني التقليدية تكون أقل، خاصة مع توفر المواد والأيدي العاملة المحلية.
- تتسم المباني بخصائص معمارية مميزة تعكس تكيف الإنسان مع بيئته واحتياجاته الاجتماعية والأمنية.

3.7.2 العيوب:

- الحاجة الى صيانة دورية إذ تتأثر المواد بالعوامل المناخية كالأمطار والرطوبة، مما يتطلب صيانة دورية للحفاظ على سلامة المبنى.
- محدودية الارتفاع، لا تسمح هذه المواد بإنشاء مباني عالية إلا ضمن حدود معينة.
- ضعف المقاومة الزلزالية، لا تتمتع هذه الأبنية بقدرة كبيرة على تحمل الزلازل أو الاهتزازات القوية.
- تأثر الشكل العام بعوامل الزمن حيث يؤدي الإهمال أو الظروف المناخية القاسية إلى تشوه الشكل الخارجي للمبنى بفعل التأكل والتشقق.
- صعوبة التعديل المعماري، تعتمد مباني الصليل على نظام الحوائط الحاملة مما يصعب معه إجراء أي تعديلات معمارية كإزالة جدران أو توسيع فراغات دون تقوية دقيقة.

3.8 صور توضح بعض المباني والحصون:



الشكل (3-50) يوضح صور لبعض المصانع



الشكل (3-51) يوضح صور لبعض الحصون



الشكل (3-52) يوضح صور البيوت

3.9 مخططات:

الوصف العام لمخططات الحصون والبيوت في هضبة حضرموت:

اولاً: الحصون التقليدية: تتميز الحصون في هضبة حضرموت بتصميم عمودي يتكون من عدة طوابق، ويخدم أغراضاً دفاعية وسكنية في آن واحد، وتستخدم الطوابق السفلية عادة كمخازن لحفظ الحبوب والمواد الغذائية، بالإضافة إلى تخزين الأسلحة والأدوات المهمة، نظراً لانخفاض درجة الحرارة فيها ولبعدها عن متناول الأعداء، أما الطوابق العلوية، فتضم غرف كبيرة نسبياً تستخدم للسكن واستقبال الضيوف.

لا تحتوي الحصون على حمامات داخلية، وهو ما يعكس نمط الحياة القائم على البساطة والتحفظ، كما ان عمليات الطهي تتم غالباً في غرف صغيرة تقع في الأدوار العليا.

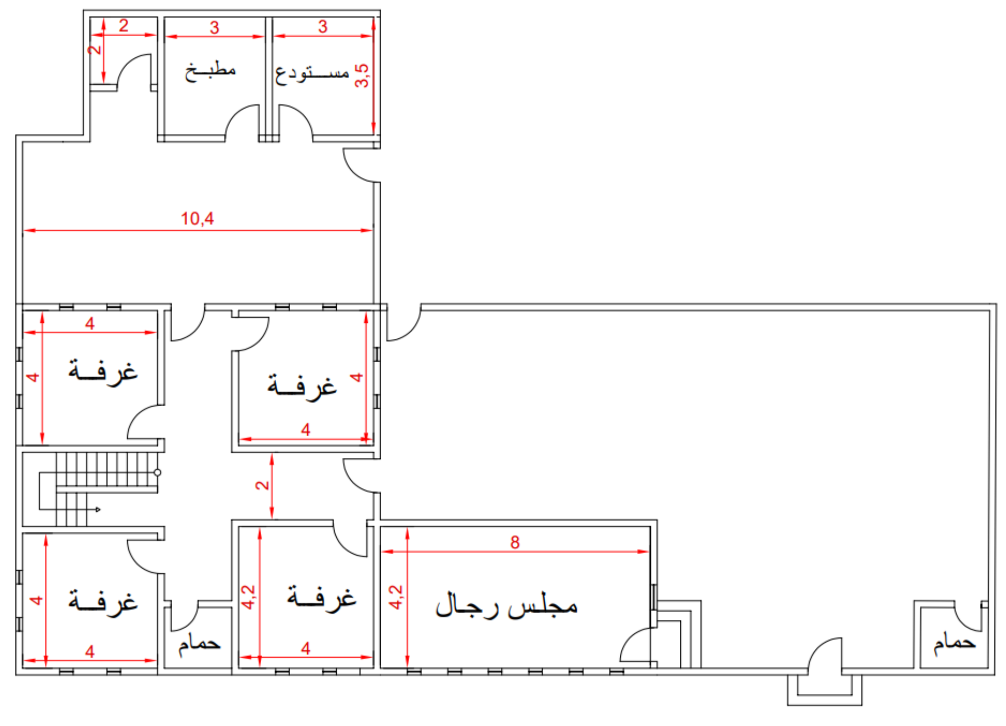
ثانياً: البيوت السكنية: البيوت القديمة هي بيوت بسيطة لا يوجد لها تفصيل بشكل واضح وانما هي عبارة عن غرف صغيرة ويختلف عددها وكبر مساحتها على حسب الاسرة المتواجدة فيها.

البيوت الحالية في هضبة حضرموت تمتاز بالانتشار الأفقي، أذ تتكون من بناء مسطح بسبب توفر المساحات الواسعة، وتشيد عادة من طابق إلى ثلاثة طوابق كحد أقصى، تكثر في هذه البيوت (الاحواش) وهي المساحات المفتوحة في المحيط بالمنزل، وتستخدم لأغراض متعددة كالتخزين، وتربية الحيوانات، والنشاطات اليومية.

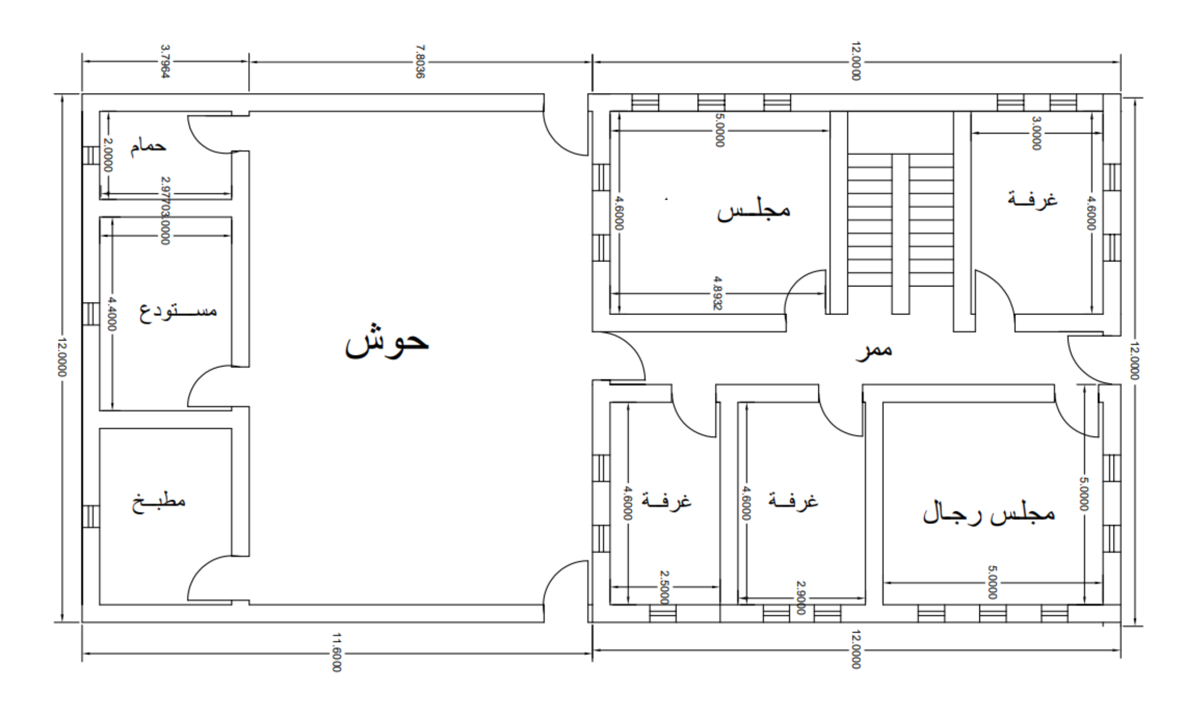
في التصميم الداخلي، يتكون الطابق الأرضي من غرف تعرف محلياً باسم امكان ومفردها مكن وتستخدم للمعيشة اليومية. أما الطوابق العلوية فتسمى غرف، وتخصص للنوم غالباً.

يلاحظ أن الحمامات والمطابخ تقع خارج المبنى الرئيسي، غالباً في الاحواش، وذلك لتجنب الروائح غير المرغوبة، ولاتساع مساحة الحركة، والقرب من أماكن التصريف، إلا ان هذا النمط بدأ يتغير موخراً، حيث بدأ السكان بإدخال المطابخ والحمامات ضمن البناء الداخلي، تأثراً بالأنماط الحديثة في البناء.

ثالثاً: المجالس (الدوواوين): تعد المجالس من العناصر الأساسية في البيت الحضرمي، وتخصص لاستقبال الضيوف، وتتميز المجالس بمساحتها الكبيرة نسبياً، وتبنى غالباً بشكل منفصل عن البيت الرئيسي لتعزيز الخصوصية لأفراد الأسرة، وغالباً ما يحيط بالمجلس فناء واسع (حوش)، يستخدم لأغراض متعددة، كما يتيح سهولة الوصول والتهوية الجيدة.



الشكل (3-53) يوضح مخطط لبيت سكني



الشكل (3-54) يوضح مخطط لبيت سكني

الباب الرابع

الاختبارات المعملية النتائج

والمناقشة

الباب الرابع

الاختبارات المعملية النتائج والمناقشة

4.1 المقدمة:

تمثل الاختبارات المعملية أحد المحاور الجوهرية في هذا البحث إذ تتيح فهماً دقيقاً للخصائص الكيمائية والفيزيائية للمواد المستخدمة في المباني التقليدية بمنطقة هضبة حضرموت، وتأتي أهمية هذا الباب من كونه يربط بين الجانب النظري والدراسات الحقلية من جهة، والتحقق العلمي من خصائص هذه المواد من جهة أخرى، مما يساهم في تقييم أدائها الهندسي ومدى ملاءمتها للاستعمالات الإنشائية التقليدية والمعاصرة.

وقد تم تنفيذ سلسلة من الاختبارات المعملية وفقاً للمعايير الهندسية المعتمدة، مثل الكثافة، والامتصاص، والمسامية، ومقاومة الانضغاط، وغيرها من الخصائص ذات الصلة، يليها تحليل ومناقشة علمية تستند الى المقارنة مع القيم المرجعية والممارسات التقليدية، بهدف تقييم كفاءة المواد المستخدمة وتحديد نقاط القوة والقصور فيها.

يسهم هذا التحليل في تقديم فهم أعمق لأداء المواد المحلية، كما يتيح وضع توصيات علمية تدعم الحفاظ على التراث المعماري وتحسين أساليب البناء المستدام في المنطقة

4.2 التجارب والفحوصات الكيميائية:

تلعب الفحوصات الكيميائية دورًا أساسيًا في تقييم خصائص المواد المستخدمة في البناء، حيث توفر معلومات دقيقة عن تركيبها الكيميائي ومدى توافقها مع معايير الجودة المطلوبة. في هذا البحث، تم إجراء مجموعة من الفحوصات الكيميائية لمادة القرف (الصليل) ايضاً المونة المستخدمة في المباني في هضبة حضرموت، وذلك بهدف تحليل مكوناتها الكيميائية وتحديد مدى ملاءمتها للاستخدام في البناء من حيث التفاعل مع العوامل البيئية المختلفة، مثل الرطوبة، والأملاح، والظروف المناخية السائدة في المنطقة.

تمت هذه الفحوصات وفقًا للمعايير الهندسية والمواصفات القياسية المعتمدة، حيث تم قياس النسب المئوية للعناصر والمركبات الكيميائية المكونة لهذه المادة، مثل أكاسيد السيليكون، وأكاسيد الحديد،

وكربونات الكالسيوم، وغيرها من المركبات ذات التأثير المباشر على خواص المادة، وتساعد هذه الفحوصات في تحديد مدى استدامة المادة وقدرتها على مقاومة التدهور بمرور الزمن، مما يساهم

في تحسين جودة البناء في المنطقة.

تم اختبار العينات باستخدام مقياس الطيف بالأشعة السينية (XRF) الذي تمت معايرته باستخدام عينات القياسية.

4.2.1 تجربة تحديد المكونات الأساسية للقرف (الصليل):

الجدول (4.1) يمثل نتائج تجربة تحديد المكونات الأساسية للقرف (الصليل)

النسبة المئوية	الوحدة	الاختبارات الكيمائية	
		الرمز الكيميائي	أسم العنصر الكيميائي
57.41	%	Sio_2	Silicon dioxide ثاني أكسيد السيلكون
7.79	%	Al_2O_3	Aluminum Oxide أكسيد الألمنيوم
3.84	%	Fe_2O_3	Ferric Oxide أكسيد الحديد
3.16	%	Cao	Calcium Oxide أكسيد الكالسيوم
8.75	%	MgO	Magnesium Oxide أكسيد المغنيسيوم
0.25	%	K_2O	Potassium Oxide أكسيد البوتاسيوم
0.02	%	Na_2O	Sodium Oxide أكسيد الصوديوم
0.15	%	SO_3	Sulphuric anhydride ثالث أكسيد الكبريت
0.05	%	Cl	Chloride الكلوريد
0.09	%	Mn_2O_3	Manganese dioxide أكسيد المنغنيز
0.03	%	P_2O_3	Phosphorus pentaoxiode خامس أكسيد الفوسفور
0.01	%	SrO	Strontium oxide أكسيد السترونتيوم
0.72	%	TiO_2	Titanium oxide أكسيد التيتانيوم
17.30	%	L.O.I	Loss on lgnition at 950 ˚C الفقد عند الاشتعال عند درجة حرارة 950 درجة مئوية

الخلاصة:

- تظهر النتائج أن المادة تحتوي على نسبة عالية من السيليكا، مما يجعلها صلبة ومناسبة للبناء
- وجود الألمنيوم والمغنيسيوم والحديد يكسبها تماسكاً جيداً وصلابة.
- نسبة الفقد العالية تدل على وجود رطوبة أو مواد عضوية تؤثر على استقرار المادة.

4.2.2 تجربة تحديد المكونات الأساسية للطين الأبيض (القطاطة):

الجدول (4.2) يمثل نتائج تجربة تحديد المكونات الأساسية للطين الأبيض (القطاطة)

الاختبارات الكيمائية			الوحدة	النسبة المئوية
أسم العنصر الكيميائي		الرمز الكيميائي		
ثاني أكسيد السيلكون	Silicon dioxide	Sio_2	%	17.08
أكسيد الألمنيوم	Aluminum Oxide	Al_2O_3	%	1.37
أكسيد الحديد	Ferric Oxide	Fe_2O_3	%	0.70
أكسيد الكالسيوم	Calcium Oxide	Cao	%	32.26
أكسيد المغنيسيوم	Magnesium Oxide	MgO	%	3.50
أكسيد البوتاسيوم	Potassium Oxide	K_2O	%	0.06
أكسيد الصوديوم	Sodium Oxide	Na_2O	%	0.12
ثالث أكسيد الكبريت	Sulphuric anhydride	SO_3	%	13.51
الكلوريد	Chloride	Cl	%	0.00
أكسيد المنغنيز	Manganese dioxide	Mn_2O_3	%	0.07
خامس أكسيد الفوسفور	Phosphorus pentaoxiode	P_2O_3	%	0.04
أكسيد السترونتيوم	Strontium oxide	SrO	%	0.22
أكسيد التيتانيوم	Titanium oxide	TiO_2	%	0.08
الفقد عند الاشتعال عند درجة حرارة 950 درجة مئوية	Loss on lgnition at 950 ˚C	L.O.I	%	30.00

الخلاصة:

- المادة تحتوي على نسبة عالية جداً من أكسيد الكالسيوم (الجير)، وهذا يجعلها فعالة كمونة في البناء التقليدي، حيث تعمل كمادة رابطة بعد الجفاف.
- نسب السيليكا والألومينا منخفضة، مما يجعل المونة أقل صلابة لكنها أكثر مرونة، وهو أمر مناسب للبناء الطيني.
- نسبة الفقد العالية 30% يدل على وجود كربونات تتحول إلى الجير بالمعالجة الحرارية، وهي سمة معتادة في المونة الجيرية

4.3 تجربة كثافة الطين الأبيض (قطاطه) الجاف:

الأدوات المستخدمة:

- أوعية معلومة الحجم
- ميزان حساس
- فرن كهربائي



شكل (4.1) صورة ميزان حساس



شكل (4.2) صورة توضح فرن حراري

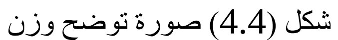
خطوات التجربة:

- توضع عينة من التربة في الفرن لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة 110-105
- يتم إخراج العينة من الفرن وتترك لتبرد فترة بسيطة
- يوزن الوعاء معلوم الحجم وهو فارغ ويسجل وزنة W_1
- يملا الوعاء بالعينة على ثلاث طبقات
- يتم تسوية السطح ثم يتم وزنها وليكن W_2



شكل (4.3) صورة توضح عملية تسوية السطح





شكل (4.4) صورة توضح وزن

- يتم حساب كثافة الطين (الوزن الحجمي) من القانون التالي:

$$\frac{\text{وزن العينة داخل الوعاء}}{\text{حجم الوعاء}}$$

الجدول (4.3) يمثل نتائج تجربة كثافه الطين

النوع	الرمز	الوحدة	الطين جاف	
حجم الوعاء	V	cm^3	976.9	976.9
وزن الوعاء فارغ	W_1	gm	3295	3295
وزن الوعاء ممتلئ	W_2	gm	4595	4605
وزن التربة	W	gm	1300	1310
الكثافة	ɣ	gm/cm^3	1.33	1.34
متوسط الكثافة	ɣ	gm/cm^3	1.335	

مناقشة النتائج:

بلغت كثافة الطين في هذه التجربة 1.335 جم/سم^3، وهي تقع ضمن النطاق المقبول لطين البناء، مما يدل على تجانس نسبي في تركيب العينة، وقد تكون الكثافة تأثرت بنسبة الرطوبة أو وجود بعض المواد العضوية في العينة.

4.4 تجربة الوزن النوعي للطين:

أدوات التجربة:

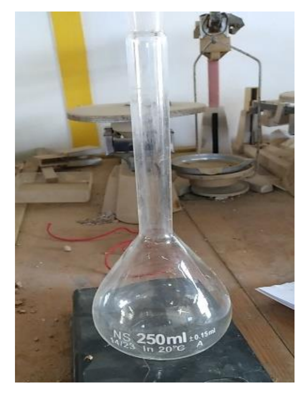
- دورق بحجم 250 ml
- فرن حراري
- ميزان حساس
- ماء مقطر



شكل (4.5) صورة ميزان



شكل (4.6) صورة فرن



شكل (4.7) دورق بحجم 250 ml

خطوات التجربة

- وزن كمية من التربة الجافة مقدارها (250 gm)
- يوزن الدورق مملوء بالماء
- وضع العينة في دورق زجاجي حجمة (250 gm)
- يضاف الماء الى العينة داخل الدورق مع الرج الدورق برفق لطرد فقاعات الهواء
- يوزن الدورق مملوء بالتربة والماء.







شكل (4.8) صور توضيحية لخطوات تجربة الوزن النوعي

الحسابات:

الوزن النوعي يحسب بالعلاقة التالية: $Gs = \frac{W1}{w1+w3-w2}$

حيث ان:

W1 = وزن العينة جافة = (250.18 gm)

W2 = وزن الدورق+ الماء+ التربة = (481.21 gm)

W3 = وزن الدورق + الماء = (349.79 gm)

$$\textbf{Gs} = \frac{250.18}{250.18+349.79-481.21} = \mathbf{2.11}$$

مناقشة النتائج :

الوزن النوعي ضمن النطاق الطبيعي للترب الطينية والطميية (عادة بين 2.0 و2.8).

القيمة 2.11 تدل على ان التربة تحتوي على نسبة من المعادن الخفيفة نسبياً أو المواد العضوية.

4.5 تجربة الكثافة والامتصاص للصليل (القرف):

أدوات التجربة:

- فرن تجفيف
- ميزان حساس
- حوض ماء لغمر العينة
- حجر العينة بأبعاد معروفة
- قطعة قماش للتجفيف السطحي

خطوات التجربة:

- تقص العينة الى شكل منتظم مكعب او أسطوانة بأبعاد مناسبة
- قياس الكتلة الجافة (Wd):

- ○ تجفف العينة في الفرن عند درجة حرارة 105-110 لمدة 24 ساعة على الأقل
- ○ تخرج العينة وتترك لتبرد حتى تصل الى درجة حرارة الغرفة
- ○ توزن العينة باستخدام الميزان الحساس ويسجل الوزن الجاف (wd)

- قياس الوزن المشبع(Wm)
  - ○ تغمر العينة في الماء لمدة 48 ساعة عند درجة حرارة الغرفة.
  - ○ بعد التشبع يتم إخراج العينة ومسح السطح الخارجي برفق بقطعة قماش.
  - ○ يتم وزن العينة مباشرة بعد التشبع ويسجل الوزن المشبع
- قياس الوزن في الماء (Ws):
  - ○ تغمر العينة في الماء مرة أخرى، ولكن هذه المرة يتم وزنها وهي مغمورة بالكامل
  - ○ يتم تسجيل الوزن المغمور (Ws).



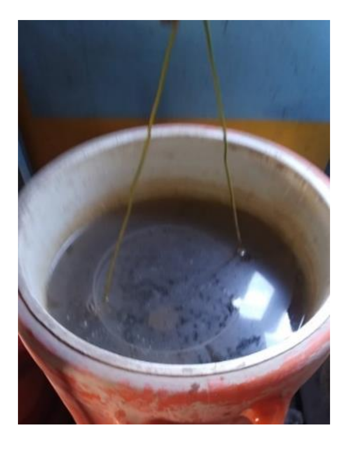
شكل (4.9) يوضح قص العينات



شكل (4.10) العينات مغمورة بالماء



شكل (4.11) وزن العينة مبللة



شكل (4.12) وزن العينة مغمورة



شكل (4.13) العينات بعد التجفيف

الحسابات:

حساب الامتصاص:

يحسب الامتصاص بالقانون التالي: $\frac{Wm-Wd}{Wd}$

جدول (4.4) يوضح حسابات تجربة الامتصاص

النوع	الرمز	الوحدات	العينة الاولى	العينة الثانية
الوزن الجاف	Wd	gm	98.2	106.8
الوزن المشبع	Wm	gm	127.2	135.6
الوزن المغمور	Ws	gm	60.6	64.6
الامتصاص		%	29.5	26.9
متوسط الامتصاص		%	**28.2**	

حساب الكثافة:

تحسب الكثافة بالقانون التالي: $\frac{Wd}{Wm-Ws}$

وتظهر النتائج حسب الجدول التالي:

جدول (4.5) يوضح حسابات تجربة الكثافة

النوع	الرمز	الوحدات	العينة الاولى	العينة الثانية
الوزن الجاف	Wd	gm	98.2	106.8
الوزن المشبع	Wm	gm	127.2	135.6
الوزن المغمور	Ws	gm	60.6	64.6
الكثافة	ɣ	gm/cm^3	1.4	1.5
متوسط الكثافة	ɣ	gm/cm^3	1.45	

مناقشة النتائج لتجربة الكثافة والامتصاص:

- الامتصاص العالي يشير الى مسامية كبيرة في الحجر وهو ما قد يجعله غير مناسب نظرياً للبناء الانشائي في البيئات الرطبة، نظراً لاحتمالية تأثره بعوامل التلف مثل التمدد، التجمد، وتشبع الماء.
- الكثافة اقل من 2.0 يدل على انخفاض الكثافة مما يعني ان الأحجار خفيفة نسبياً، وقد تكون أقل تحملاً للأحمال العالية مقارنة بالأحجار ذات الكثافة الأعلى.

تفسير الاستخدام العملي رغم الخصائص المنخفضة:

رغم النتائج التي توحي بضعف المادة الا أن الوقع الميداني والتاريخي يثبت العكس، حيث تستخدم هذه الأحجار منذ مئات السنين في بناء المنازل والحصون التقليدية، والتي مازالت قائمة حتى اليوم.

ويرجع ذلك الى العوامل التالية:

- المناخ الجاف: يقلل من تأثير الرطوبة وبالتالي لا تتضرر الأحجار رغم مساميتها
- نمط البناء التقليدي: يعتمد على جدران سميكة ومونة متوافقة تسمح بمرونة تنفس الحجر.
- البيئة المحلية تتكيف مع خصائص المواد الطبيعية: مما يحقق كفاءة استخدام عالية رغم بساطة المادة الخام.

الخلاصة:

- من الناحية المخبرية تصنف هذه الأحجار ضمن المواد منخفضة الكثافة وعالية الامتصاص، وهي غير ملائمة للبناء في البيئات الرطبة أو شديدة التغير المناخي.
- لكن من الناحية العملية والتاريخية، فأن استخدامها ناجح جداً في البيئة المحلية، مما يؤكد أهمية مواءمة التحليل العلمي مع الواقع البيئي والمعماري، أي ان العلم لا يكفي لوحدة، بل يجب ان يقرأ في سياق البيئة، والعرف المعماري، والزمن.

4.6 تجربة قوة الكسر (الضغط) للقرف:

هدف التجربة:

تحديد مقاومة الضغط للقرف باستخدام اختبار الضغط وذلك لتقييم مدى تحمله للأحمال المختلفة.

الأدوات والمعدات:

- ماكينة اختبار الضغط.
- حجر العينة (يُفضل أن يكون مكعبًا أو أسطوانة بأبعاد محددة).
- ميزان رقمي لقياس الكتلة.
- مسطرة او متر لقياس الأبعاد.







شكل (4.14) يوضح أدوات تجربة اختبار قوة الضغط

خطوات التجربة:

تحديد العينة وقصها على شكل أسطوانة بأبعاد معروفة.

تسوية سطح العينة باستخدام المبرد وورق الصنفرة.

يتم قياس أبعاد العينة بدقة.

وزن العينة باستخدام الميزان الرقمي.

توضع العينة على منصة ماكينة الاختبار بحيث يكون سطحها العلوي والسفلي متوازيين.

تشغل الماكينة وتُطبق الحمولة ببطء حتى تتكسر العينة.

تسجل قيمة القوة العظمى عند لحظة الكسر.



شكل (4.15) يوضح وضع العينة في مكينة الضغط



شكل (4.16) يوضح وضع العينة بعد الكسر

النتائج والحسابات:

حساب قوة الضغط:

قوة الضغط = القوة عند الكسر/مساحة المقطع العرضي للعينة

تم عمل اختبار على ثلاث عينات وكانت النتائج حسب ما هو موضح في الجدول الاتي (4.6):

جدول (4.6) يوضح حسابات تجربة قوة الضغط

اسم العينة	الابعاد mm		المساحة mm^2	الوزن gm	القوة KN	الاجهاد N/mm^2
	الارتفاع	القطر				
A1	80	50	1963.5	253.9	48.9	24.9
A2	100	50	1963.5	345.8	123.4	62.8
A3	100	50	1963.5	346.8	80.5	40.9

الملاحظات:

- وجود صعوبة في قص عينات بالارتفاع المطلوب نظراً لكون الحجر يتقسم الى عدة طبقات عند القص ولا يخرج وصلة واحدة مما أدى الى صعوبة تحضير عينات كثيرة.
- عند وضع العينة في الماء لاختبارها رطبة تفكك الحجر الى عده طبقات.
- وجود صعوبة في تسوية سطح العينة حيث حاولنا بأكثر من طريقة، الجبس لم يلتصق بهذه الحجارة أيضاً الاسمنت وتم التسوية بأوراق صنفرة.
- يجب التأكد من أن العينة موضوعة بشكل صحيح على منصة الماكينة اي لابد من التأكد من تسوية السطح بالشكل المطلوب بحيث يكون التحميل موزع على العينة بشكل متساوي
- معدل تحميل القوة يجب أن يكون بطيئًا لمنع حدوث انهيار مفاجئ.

مناقشة النتائج:

- تفاوت كبير في النتائج
- الحاجة لتكرار التجربة بعدد عينات أكثر، ثلاث عينات فقط غير كافية لإعطاء تقييم إحصائي موثوق لقوة الحجر.

4.7 تجربة التغير الحجمي للقرف:

الهدف من التجربة:

تهدف التجربة الى قياس مدى امتصاص القرف (الصليل) للماء وتأثير ذلك على أبعاده او حجمة، هذه التجربة تستخدم كثيراً لتقييم خواص الأحجار المستخدمة في البناء خاصة من حيث المتانة والمسامية.

أدوات التجربة:

- حجر عينة مكعب أو أسطوانة بأبعاد معروفة
- مسطرة أو جهاز قياس أبعاد رقمي
- إناء ماء

خطوات التجربة:

- قياس الابعاد الجافة
- أحسب الحجم الجاف
- نقع الحجر في الماء
- وضع العينة في إناء به ماء بحيث تغمر تماماً
- تركها لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة
- اخرج الحجر وجفف سطحه الخارجي بسرعه بقطعة قماش
- قس أبعاده مرة أخرى أحسب الحجم بعد النقع



شكل (4.17) يوضح عينات تجربة التغير الحجمي



شكل (4.18) يوضح التشقق ولانقسام

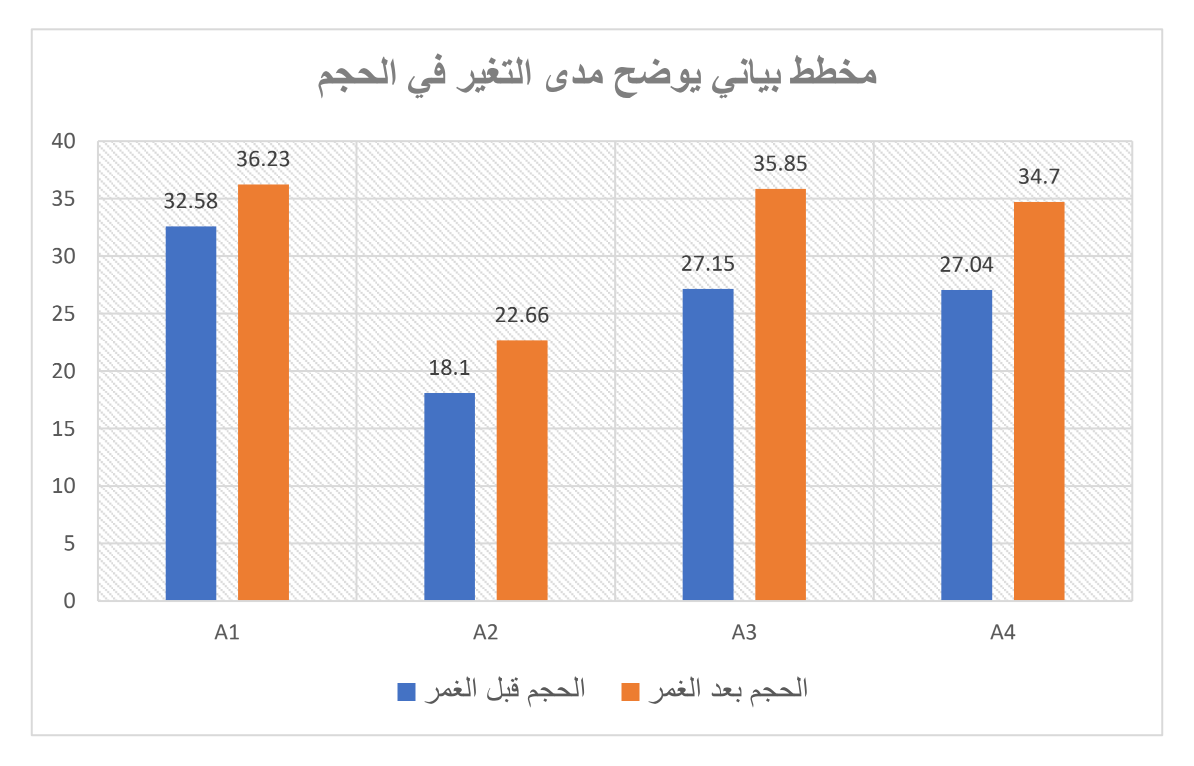
حساب التغير الحجمي:

العينات كانت اسطوانية الشكل، وتم قياس ابعادها (القطر والارتفاع) قبل وبعد الغمر بالماء لمدة 24 ساعة وكانت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

نسبة التغير الحجمي = {(الحجم بعد النقع- الحجم الجاف) / (الحجم الجاف)} x 100%

جدول (4.7) يوضح حسابات تجربة التغير الحجمي

العينة	القطر قبل الغمر	الارتفاع قبل الغمر	الحجم الجاف	القطر بعد الغمر	الارتفاع بعد الغمر	الحجم بعد الغمر	نسبة التغير الحجمي
	cm	cm	cm^3	cm	cm	cm^3	%
A1	4.8	1.8	32.58	4.8	2	36.23	11.2
A2	4.8	1	18.10	4.9	1.2	22.66	25.1
A3	4.8	1.5	27.15	4.9	1.9	35.85	32.0
A4	4.5	1.7	27.04	4.7	2	34.70	28.4



شكل (4.19) يوضح مخطط بياني لمدى التغير الحجمي

مناقشة النتائج:

- أظهرت العينات تغيراً واضحاً في الحجم بعد النقع، مما يدل على مسامية المادة الحجرية.
- زيادة القطر بعد النقع، وليس فقط الارتفاع، يدل على ان التمدد يحدث في جميع الاتجاهات، مما قد يودي الى تشققات داخلية في الاستخدامات طويلة المدى.
- ارتفاع نسبة التغير الحجمي يجعلها أقل ملاءمة للبناء في البيئات الرطبة أو التي تتعرض لتغيرات رطوبة متكررة.
- تم قياس العينات بعد مرور 48 ساعة ولم يلاحظ تغير في القياسات وانما بعض الأحجار بدأت بالتشقق والانقسام.
- عند بقاء الحجر في الماء لمدة تتجاوز48 ساعة يصبح سهل التفتت باليد.
- بعد تجفيف العينات تعود لحجمها الطبيعي قبل الغمر.

4.8 تجربة التحليل المنخلي :

أدوات التجربة:

1- ميزان حساس 2- وعاء غسيل 3- فرن تجفيف 4- مصدر ماء

خطوات التجربة:

- تؤخذ كمية مناسبة من الركام حسب نوعه (ناعم او خشن)
- تجفف العينة في فرن عند درجة حرارة 105-110 C حتى ثبات الوزن
- تبرد لدرجة حرارة الغرفة وتوزن
- توضع العينة في وعاء ويضاف الماء مع التحريك
- يسكب الماء من خلال منخل رقم 200 (0.075 mm)تكرر العملية حتى يصبح الماء الخارج شبة صافي
- تجفف المواد المتبقية بعد الغسيل في الفرن
- توضع العينة الجافة بعد الغسيل على أعلى منخل في السلسلة
- تهز المناخل الياً او يدوياً لمدة عشر دقائق تقريباً
- توزن المواد المتبقية على كل منخل



شكل (4.20) يوضح عملية غربلة التربة



شكل (4.21) يوضح التربة بعد التجفيف



شكل (4.22) يوضح عملية الغربلة والوزن

ملاحظات:

- يجب التأكد من عدم فقدان أي جزء من العينة أثناء الغسيل أو النقل.
- المواد المارة من منخل رقم 200 تعتبر مواد ناعمة جداً
- الغرض من الغسيل هو إزالة الغبار والطين القابل للذوبان الذي قد يوثر على التماسك

الحسابات:

- النسبة المئوية المحتجزة = (الوزن المحتجز/ الوزن الكلي) x 100%
- النسبة المئوية المارة = 100% - النسبة التراكمية المحتجزة

جدول (4.8) يوضح حسابات تجربة التحليل

رقم المنخل	المنخل	الوزن المتبقي التراكمي	المحتجز الصافي	النسبة المحتجزة	النسبة المارة
No	mm	gm	gm	R%	P%
# 4	4.75	4	4	0.27	99.73
# 8	2.36	62	58	3.89	95.84
# 10	2.00	82	20	1.34	94.50
# 40	0.425	440	358	24.03	70.47
#100	0.150	606	166	11.14	59.33
# 200	0.075	650	44	2.95	56.38
المار من المنخل 200	-	-	840	56.38	0.00

التحليل العام للتدرج الحبيبي:

جدول (4.9) يوضح التحليل العام لتجربة التحليل المنخلي

الحجم التقريبي للجسيمات	المنخل	الملاحظات
الحصى (اكبر من 4.75 مم)	4	فقط 0.27 % نسبة شبة معدومة
الرمل الخشن الى المتوسط	8-10	مجموعهم ≈ 5.23 % نسبة قليلة
الرمل الناعم	40-100	مجموعهم ≈ 35.17 % نسبة جيدة
الغرين والطين (ادق من 0.075)	مار من 200	56.38 % نسبة عالية جداً

مناقشة النتائج:

- ارتفاع نسبة الغرين والطين أكثر من 50% هذا يدل على ان التربة ناعمة جداً.
- هذه النسبة العالية تعطي لدونة جيدة وهي مفيدة في التماسك للبناء الطيني، ولكن قد تسبب تشققات عند الجفاف اذا لم تعالج بإضافات.

- قلة الرمل (35.17 %)، الرمل يعطي تماسكاً حجمياً ويقلل من التشققات.
- النسبة منخفضة نوعاً ما، ما يعني أن التربة قد تكون لدنة جداً وتحتاج الى تحسين بخلط الرمل أو القش.

4.9 تجربة قوة ضغط مكعبات الطين:

الأدوات المستخدمة:

- جهاز اختبار الضغط.
- ميزان حساس.
- مسطرة لقياس الابعاد.

خطوات التجربة:

- تشكل مكعبات طينية بأبعاد 5x5x5 سم بنسب خلط مختلفة.
- يجب دمك الطين داخل القالب لتفريغ الفراغات.
- تترك العينات لتجف في الهواء المدة المطلوبة.
- ترقم العينات وتسجل بيانات كل عينة.
- توضع العينة على الجهاز ويشغل بسرعه تحميل منتظمة.
- يستمر الضغط حتى حدوث فشل او تشقق واضح في العينة.
- تسجل قيمة الحمولة القصوى عند فشل العينة (KN).
- تحسب قوة الضغط.



شكل (4.23) يوضح خطوات تجربة قوة ضغط المكعبات

نتائج تجربة قوة كسر مكعبات الطين:

جدول (4.10) يوضح نتائج قوة الضغط بنسبة ماء 40%

اسم العينة	نسبة الماء في الخلطة %	نسبة (الذياد) في الخلطة %	تاريخ الخلط	تاريخ الكسر	الابعاد cm			المساحة cm^2	الحجم cm^3	الوزن gm	الكثافة gm/cm^3	القوة KN	الاجهاد N/mm^2
					الطول	العرض	الارتفاع						
A1	40	0	22/2/2025	22/4/2025	4.85	4.9	4.8	23.77	114.07	165	1.45	4.0	1.68
A2	40	0			4.8	4.75	4.8	22.8	109.44	165	1.51	5.7	2.50
A3	40	0			4.75	4.8	4.85	22.8	110.58	160	1.45	5.8	2.54
A4	40	0			4.9	4.9	4.8	24.01	115.25	165	1.43	4.5	1.87
A5	40	0			4.8	4.7	4.7	22.56	106.03	160	1.51	5.8	2.57
A6	40	0			4.8	4.9	4.85	23.52	114.07	165	1.45	5.6	2.38
المتوسط					4.82	4.83	4.80	23.24	111.57	163.33	1.46	5.23	2.26

جدول (4.11) يوضح نتائج قوة الضغط بنسبة ماء 50%

اسم العينة	نسبة الماء في الخلطة%	نسبة (الذياد) في الخلطة%	تاريخ الخلط	تاريخ الكسر	الابعاد cm			المساحة cm^2	الحجم cm^3	الوزن gm	الكثافة gm/cm^3	القوة KN	الاجهاد N/mm^2
					الطول	العرض	الارتفاع						
B1	50	0	22/2/2025	22/4/2025	4.6	4.7	4.7	21.62	101.61	150	1.48	3.4	1.57
B2	50	0			4.5	4.6	4.6	20.7	95.22	150	1.58	4.8	2.32
B3	50	0			4.6	4.7	4.5	21.62	97.29	150	1.54	4.7	2.17
B4	50	0			4.7	4.6	4.6	21.62	99.45	150	1.51	5.0	2.31
B5	50	0			4.65	4.6	4.65	21.39	99.46	150	1.51	5.1	2.38
B6	50	0			4.6	4.7	4.6	21.62	99.45	150	1.51	3.8	1.76
المتوسط					4.61	4.65	4.61	21.43	98.75	150	1.52	4.47	2.09

جدول (4.12) يوضح نتائج قوة الضغط بنسبة ماء 50% ونسبة الذياد 1%

الاجهاد N/mm^2	القوة KN	الكثافة gm/cm^3	الوزن gm	الحجم cm^3	المساحة cm^2	الابعاد cm الارتفاع	العرض	الطول	تاريخ الكسر	تاريخ الخلط	نسبة (الذياد) في الخلطة%	نسبة الماء في الخلطة%	اسم العينة
1.49	3.5	1.30	145	111.72	23.52	4.75	4.8	4.9	22/4/2025	22/2/2025	1	50	C1
1.63	3.8	1.33	145	109.42	23.28	4.7	4.85	4.8			1	50	C2
1.69	3.9	1.34	145	108.29	23.04	4.7	4.8	4.8			1	50	C3
1.80	4.1	1.34	145	108.30	22.8	4.75	4.75	4.8			1	50	C4
1.84	4.2	1.32	145	109.44	22.8	4.8	4.75	4.8			1	50	C5
1.55	3.5	1.37	145	106.03	22.56	4.7	4.7	4.8			1	50	C6
1.67	٣,٨٣	1.33	145	108.87	23.00	4.73	4.78	4.82	المتوسط				

جدول (4.13) يوضح نتائج قوة الضغط بنسبة ماء 50% ونسبة الذياد 2%

اسم العينة	نسبة الماء في الخلطة %	نسبة (الذياد) في الخلطة %	تاريخ الخلط	تاريخ الكسر	الابعاد cm			المساحة cm^2	الحجم cm^3	الوزن gm	الكثافة gm/cm^3	القوة KN	الاجهاد N/mm^2
					الطول	العرض	الارتفاع						
D1	50	2	22/2/2025	22/4/2025	4.8	4.8	4.8	23.04	110.59	140	1.27	2.9	1.26
D2	50	2			4.8	4.8	4.8	23.04	110.59	140	1.27	2.6	1.13
D3	50	2			4.9	4.8	4.75	23.52	111.72	140	1.25	2.9	1.23
D4	50	2			4.8	4.8	4.7	23.04	108.29	145	1.34	3.2	1.39
D5	50	2			4.8	4.8	4.75	23.04	109.44	140	1.28	3.1	1.35
D6	50	2			4.85	4.7	4.8	22.80	109.42	140	1.28	3	1.32
المتوسط					4.83	4.78	4.77	23.08	110.01	140.83	1.28	2.95	1.28

مناقشة النتائج والملاحظات:

- نلاحظ صعوبة في خلط الطين بنسبة اقل من ٤٠٪ ولا يمكن استخدامها كمونه للبناء الا بنسبة تتجاوز ٥٠٪
- المكعبات في اليوم الاول لم تجف واليوم الثاني لا زال يوجد فيها اجزاء لم تجف اما اليوم الثالث اصبحت جافة تماماً.
- والمكعبات التي يوجد فيها قش تجف بشكل أبطأ نوعاً ما ولا توجد شقوق فيها اما المكعبات العادية يوجد في بعضها شقوق بسيطة.
- صعوبة دمك الطين ذو محتوى 50% ماء.
- زيادة الانكماش والتشقق عند زيادة نسبة الماء وعدم إضافة الذياد.
- تقل المقاومة بزيادة نسبة الماء، كما تقل ايضاً عند إضافة القش (الذياد).
- تتناسب زيادة القش (الذياد) عكسياً مع قوة الضغط، وطردياً مع الشد ومقاومة التشققات.
- من خلال الفحص البصري لسلوك العينات بعد الكسر، لوحظ ان المكعبات التي تحتوي على قش بقيت متماسكة نسبياً حتى بعد حدوث الكسر، حيث عمل القش كعامل ربط داخلي يحد من تفتت العينة إلى أجزاء، اما العينات الخالية من القش فقد تكسرت بشكل هش وتفككت إلى قطع منفصلة مباشرة بعد الفشل، يشير هذا إلى أن وجود القش يحسن من خاصية التماسك بعد الكسر، ويمنح الطين سلوكاً أكثر ليونة، حتى وان لم يرفع من مقاومة الضغط.

4.10 تجربة تحديد حد السيولة وحد اللدونة للتربة

الغرض من التجربة:

معرفة حدود اتساق التربة والتي تساعد في تصنيفها وتحديد سلوكها عند وجود الماء، وتشمل:

حد السيولة (LL): نسبة الرطوبة التي تتحول عندها التربة من الحالة البلاستيكية إلى السائلة.

حد اللدونة (PL): نسبة الرطوبة التي تتحول عندها التربة من الحالة شبة الصلبة إلى الحالة البلاستيكية.

الأجهزة والأدوات المستخدمة:

- جهاز كازاجراند
- فرن لتجفيف العينات
- أوعية معدنية للتجفيف
- ملعقة فولاذية
- ميزان حساس
- عينة تربة مارة من منخل رقم 40

خطوات التجربة:

أولا: تجربة حد السيولة

- تجهيز عينة من التربة مضاف لها كمية مناسبة من الماء حتى تصبح ذات قوام ناعم.
- تعبئة التربة في كوب كاساجراند وتشكيل شق في المنتصف باستخدام الأداة المخصصة.
- تشغيل الجهاز وتسجيل عدد الضربات التي تغلق فيها الشق لمسافة 12مم.
- أخذ جزء من العينة بعد كل محاولة لتحديد نسبة الرطوبة.
- تكرار الخطوات مع تعديل نسبة الماء للحصول على عدد ضربات تتراوح بين 10 و40.

ثانياً: تجربة حد اللدونة

- أخذ جزء من نفس العينة السابقة وتعديل نسبة الرطوبة إن لزم.
- دحرجة العينة بالأصابع حتى تصبح بشكل خيوط بقطر 3 مم.
- عند شقق الخيط، يتم أخذ جزء منه وتحديد نسبة الرطوبة.
- تكرار التجربة لعينتين على الأقل لأخذ المتوسط.



شكل (4.24) يوضح جهاز كازاجراند



شكل (4.25) يوضح عينة حد السيولة



شكل (4.26) يوضح عينة حد اللدونة

البيانات المسجلة:

تجربة حد السيولة

نسبة الرطوبة (%)	وزن الوعاء (جم)	وزن العينة جافة (جم)	وزن العينة رطبة (جم)	عدد الضربات	المحاولة
5.49	24.68	68.02	70.40	9	1
5.14	21.09	59.42	61.39	16	2
5.09	27.09	66.58	68.59	24	3

الملاحظات:

- القيم غير منطقية، حيث من المفترض أن تزيد نسبة الرطوبة مع انخفاض عدد الضربات.
- الفروقات بين الرطوبات الثلاث ضئيلة، وهذا يتعارض مع سلوك التربة الطبيعي.

تم استبعاد نتائج هذه التجربة من الحسابات النهائية بسبب وجود خطاء واضح في التنفيذ أو تسجيل الأوزان او بنسبة كبيرة خلل في فرن التجفيف.

تجربة حد اللدونة:

نسبة الرطوبة (%)	وزن الوعاء (جم)	وزن العينة جافة (جم)	وزن العينة رطبة (جم)	المحاولة
28.41	8.89	14.31	15.85	1
28.03	7.41	14.33	16.27	2
28.22	متوسط حد اللدونة (PL)			

مناقشة النتائج والاستنتاجات:

- تم تنفيذ التجربة وفق الخطوات المعتمدة، إلا أن نتائج حد السيولة كانت غير منطقية.
- من المرجح وجود خلل في تجفيف العينات او في تسجيل أو قراءة الأوزان أو عدم تجانس العينة.
- تم توثيق التجربة رغم استبعاد نتائجها لأغراض الشفافية العلمية، مع الإشارة إعادة تنفيذ التجربة لاحقاً بشكل مستقل للحصول على نتائج دقيقة.

- السبب في عدم إعادة التجربة في الوقت الحالي كان بسبب نفاذ العينة الموجودة وعدم التمكن من إحضار عينة أخرى.
- نتائج حد اللدونة كانت جيدة ومتناسقة.

الباب الخامس
الاستنتاجات والتوصيات

الباب الخامس

الاستنتاجات والتوصيات

5.1 الاستنتاجات:

- أثبت الصليل كفاءة وملائمة كبيرة للمناخ المحلي الجاف من حيث الصلابة والعمر الافتراضي الطويل، حيث توجد مباني لا تزال قائمة منذ مئات السنين دون الاهتمام بها.
- أظهرت نتائج اختبار الكثافة أن مادة الصليل تتمتع بكثافة منخفضة نسبياً مما يجعلها مادة خفيفة الوزن مقارنة بمواد البناء الأخرى، ويساهم ذلك في تقليل الأحمال الذاتية على الأساسات.
- أظهرت نتائج اختبار الامتصاص المائي أن مادة الصليل لها قدرة متوسطة إلى عالية على امتصاص الماء، مما يجعلها غير مناسبة في المناطق الرطبة او ذات الامطار الدائمة.
- كلما زادت نسبة الماء في الخلطة الطينية والقش المستخدم كلما قلت مقاومة كسر مكعب الطين للقوة بسبب ان القش يعمل فراغات داخل المكعب مما يضعف القوة، ولكن يحافظ على الترابط.
- عند زيادة نسبة القش تقل التشققات .
- في تجربة التحليل المنخلي للطين تبين ان التربة ناعمة وهذا يعطي لدونه جيدة وهذا مفيد في التماسك في البناء الطيني.

5.2 التوصيات:

- ضرورة توثيق هذا التراث المعماري بالتفصيل (صور، مخططات، وصف مواد) للحفاظ على هذا الإرث المعماري من الاندثار.
- تعزيز برامج الترميم والصيانة بحيث توضع برامج دائمة لصيانة الحصون والمباني التاريخية التي بدأت تتدهور بفعل عوامل التعرية، مع استخدام نفس المواد التقليدية عند الترميم لضمان المحافظة على الهوية المعمارية.

- التوعية بأهمية هذا النمط المعماري ونشر الوعي الثقافي والمعماري بين المجتمع المحلي بخصوص أهمية المباني التقليدية ليس فقط كتراث، بل كنظام بناء مستدام.
- دمج المعرفة التقليدية بالمعايير الهندسية الحديثة لتطوير البناء بطريقة آمنة ومستدامة.
- استفادة المتخصصين والمهندسين في مجال العمارة من أنماط البناء التقليدية، من خلال تقديم تصاميم عصرية مستوحاة من العمارة القديمة، كالمصانع والحصون.
- تشجيع البحوث المختبرية التي تدمج التحليل الكيميائي مع التحليل الميكانيكي للوصول إلى فهم شامل لخواص المواد التقليدية وإمكانية تطويرها.
- عمل فحص مقاومة الضغط على عدد كبير من العينات لمادة الصليل (القرف) وتستخرج العينات من المحجر (المقراف) نفسة، عن طريق الكور، لصعوبة الحصول على عينات قياسية.
- عمل الاختبارات للمكعبات الطينية على ثلاث مراحل، ثلاث أيام، أسبوع، 28 يوم.

زيادة عدد العينات في التجارب لزيادة الدقة في النتائج.

المراجع

1- صفحة أجواء اليمن ، د/ أبراهيم الكبسي.

2- قادري: عبدالباقي أحمد، ملامح جيومورفولوجية من حضرموت – اليمن (مجلة الجمعية الجغرافية اليمنية، صنعاء 2002).

3- باراس : سالم محمد ، حصون نوح وسيبان ولبنة والحيسر تحت المجهر، مجلة حضرموت الثقافية ، مركز حضرموت للدراسات والأبحاث والتوثيق والنشر، المكلا، العدد 4، يونيو 2017م.

4- بلفقيه : عيدروس علوي ، جغرافية الجمهورية اليمنية ص ٥٦.

5- بارشيد، محمد عوض، توزيع الصخور والمعادن في محافظة حضرموت (دراسة في الجيومورفولوجيا الاقتصادية)، مجلة جامعه حضرموت للعلوم الإنسانية المجلد 15، العدد 2، ديسمبر،2018م.

6- الديلمي، عبدالله سالم، المناخ الجاف وتأثيره في المناطق الصحراوية: دراسة حالة هضبة حضرموت. المجلة العربية للجغرافيا والبيئة، المجلد 2، العدد 1، ص 45-62.

7- السدلة، محمد أحمد، رؤية مستقبلية للحفاظ على التراث المعماري المتنوع في شبوة، مؤتمر شبوة تاريخ وحضارة، بحوث المؤتمر العلمي الثالث، مركز عدن للدراسات والبحوث التاريخية والنشر ص677، توزيع الهيئة العامة للكتاب م/شبوة، ، ، 2021.

8- الرباكي، أحمد صالح، التحصينات العسكرية في هضبة ووادي حضرموت (عمارة القرف والطين) دراسة مقارنة، مجلة حضرموت الثقافية، العدد 10، ص80، 2018.

9- حنشور احمد إبراهيم محتسب، تعدد الأنماط المعمارية القديمة وتقنياتها في محافظة شبوة، مؤتمر شبوة تاريخ وحضارة، بحوث المؤتمر العلمي الثالث، مركز عدن للدراسات والبحوث التاريخية والنشر ص643، توزيع الهيئة العامة للكتاب م/شبوة، ، ، 2021.

10-بلعكز، عيظة حسن صالح عبدالعزيز، السكن في الهضبة (السوط)، مقال في صفحة التراث الشعبي م/الطلح م/شبوة، وفي كتاب قيد الإنشاء.

11- باهمام، علي بن سالم بن عمر، الخصائص المعمارية والعمرانية للمساكن التقليدية في المملكة العربية السعودية، دراسات وبحوث مركز العمارة الطينية، المؤتمر العلمي الأول، العمارة الطينية على بوابة القرن الحادي والعشرون ص 170، 2000.

12- كوجين، يوري فيودروفيتش ، تقديم وتعريب، بن عقيل، عبدالعزيز جعفر، العمارة الطينية الحضرمية التقليدية، الفصل الرابع، مركز حضرموت للدراسات التاريخية والتوثيق والنشر، حضرموت، 2016م.

13- Reed, W.E., & Milici, R.C (2020). Shale. In Encyclopedia Britannica. Retrieved Foom.